

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENATO CESAR GONÇALVES ROBERT

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE COLHEITA MECANIZADA  
EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* spp. EM DUAS CONDIÇÕES DE RELEVO  
ACIDENTADO



CURITIBA  
2013

RENATO CESAR GONÇALVES ROBERT

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE COLHEITA MECANIZADA  
EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* spp. EM DUAS CONDIÇÕES DE RELEVO  
ACIDENTADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Florestal, Setor de Ciências  
Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como  
requisito parcial à obtenção do título de Doutor em  
Engenharia Florestal.


Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha  
Co-orientador: Prof. Dr. Dirk Jaeger

CURITIBA  
2013

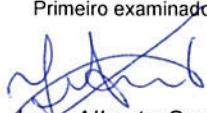
**PARECER**

Defesa nº. 986

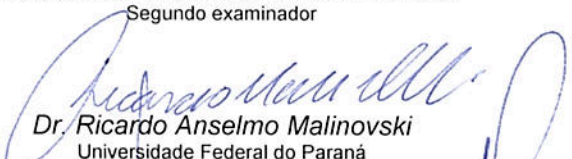
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Renato Cesar Gonçalves Robert* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE COLHEITA MECANIZADA EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* spp. EM DUAS CONDIÇÕES DE RELEVO ACIDENTADO**", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS.



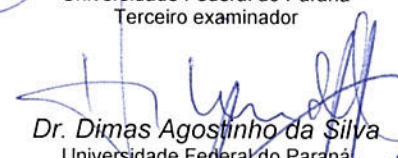
**Dr. Reginaldo Sérgio Pereira**  
Universidade de Brasília - UnB  
Primeiro examinador



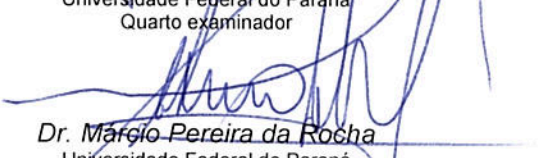
**Dr. Jean Alberto Sampietro**  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC  
Segundo examinador



**Dr. Ricardo Anselmo Malinovski**  
Universidade Federal do Paraná  
Terceiro examinador




**Dr. Dimas Agostinho da Silva**  
Universidade Federal do Paraná  
Quarto examinador



**Dr. Márcio Pereira da Rocha**  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 29 de agosto de 2013.



**Antonio Carlos Batista**  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
**Jorge Luis Monteiro de Matos**  
Vice-coordenador do curso

Ofereço a minha amada Família

**Adriana da Silva Santos e**

**Iara Santos Robert**

por serem iluminadas e estarem comigo mesmo longe.

Dedico aos meus pais,

**Dagmar Segui Gonçalves e**

**Dionísio Renato Robert** pelo incentivo

constante pelos estudos e pela  
educação que me proporcionaram.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho é resultado do incentivo e auxílio de muitas pessoas, pelas quais somente o agradecimento não será suficiente para demonstrar a minha gratidão.

- Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha, pela confiança depositada, incentivo constante, palavras de apoio em todos os momentos, paciência e estímulo, principalmente nas etapas finais deste trabalho!
- Prof. Dr. Dirk Jaeger e Prof. Dr. h.c. Gero Becker pelas contribuições essenciais para o trabalho e pela apresentação de novas tecnologias que puderam ser utilizadas neste trabalho;
- Ao Prof. Dr. Leif Nutto pelo grande apoio, traduções, correções e contribuições;
- Prof. Dr. Ivan Tomaselli pelo apoio no início do doutorado;
- Prof. Dr. Jorge Roberto Malinovski e Prof. Dr. Paulo Torres Fenner pelas contribuições técnicas fundamentais, atenção, disponibilidade e explicações;
- Aos meus tios Lionel Segui Gonçalves e Neide Malusá Gonçalves pelo apoio incessante e de longa data pela importância da formação acadêmica;
- A Celulose Nipo Brasileira S.A. - Cenibra pela disponibilização dos dados deste trabalho, especialmente aos Srs. Ilvânio Luiz Guedes e Edvaldes José do Amaral, assim como aqueles que auxiliaram para que este trabalho fosse concretizado, seja com o levantamento de informações, contribuições técnicas ou ainda com palavras de apoio. Aqui a lista é grande, e seria injusto citar nomes;
- Kauê Augusto Oliveira Nascimento e Priscilla Cavenaghi Koch pela árdua tarefa de acompanhamento e auxílio na coleta de dados;
- A Anderson Nikkel, Andreas Manuel, Flávia Alessandra Pinheiro da Rocha Cordeiro e Silva, Laércio Barbeiro, Marcelo Wiechete, Mauricio Koubay do Amaral, Rorai Pereira Neto e Uwe Ullrich pela parceria na análise de dados e discussão de resultados;
- A Empresa Komatsu Forest do Brasil pelo suporte de transporte e estadias aos locais de teste das máquinas e em especial ao apoio incondicional para a coleta de dados dado pelos Srs. Edson Leonardo Martini, Lonard Scofield dos Santos, Klaus Egle, Valdeci Musial e Claudinei Miranda;
- Ao CNPq por ter apoiado minha estadia na Alemanha para conclusão deste trabalho;
- À UFPR e ao Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, em especial ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade em trilhar mais uma etapa em busca do conhecimento.

**A todos,**

**MUITO OBRIGADO!  
VIELEN DANK!**

*“As pessoas que resolviam as coisas em geral tinham muita persistência e um pouco de sorte. Se a gente persistisse o bastante, a sorte em geral chegava. Mas a maioria das pessoas não podia esperar a sorte, por isso desistia.”*

*Charles Bukowski*

## RESUMO

O avanço da mecanização na colheita florestal é um dos fatores que contribuíram para impulsionar os índices de competitividade da atividade econômica de produção florestal no Brasil. Entretanto o uso de sistemas de colheita mecanizados em áreas onde o terreno possui declividades acentuadas ainda é um desafio tecnológico a ser enfrentado pelas empresas florestais. Este trabalho buscou avaliar a produtividade e os custos de produção e operacional das operações florestais de colheita de madeira em terrenos montanhosos com a utilização de um *harvester* 911.3 X3M e um *forwarder* 860.4 com guincho de tração auxiliar (GTA) na extração. Os dados foram coletados a partir de dois testes operacionais inéditos realizados em duas áreas de plantio de *Eucalyptus* spp. em Minas Gerais e no Estado de São Paulo. Nas áreas em Minas Gerais foi avaliada tecnicamente a produtividade das operações de corte florestal com o *harvester* em três diferentes classes de declividade ( $0^\circ$  a  $20^\circ$ ;  $20,1^\circ$  a  $27^\circ$  e acima de  $27,1^\circ$ ) e nos sentidos ascendente e descendente de operação, bem como foram determinados os custos operacionais e de produção do conjunto *harvester* e *forwarder*. Nos testes realizados em São Paulo foram avaliadas as produtividades do *harvester* em duas classes de declividade:  $0^\circ$  a  $25^\circ$  e acima de  $25,1^\circ$ , enquanto que para o *forwarder* foi avaliada a distância média de extração (DME), a declividade e o uso ou não do GTA. Os resultados mostraram que o *harvester* 911.3 X3M é adequado a realizar a colheita em terrenos declivosos visto que não foi observada influência da declividade na produtividade. O *forwarder* mostrou-se eficaz dentro dos limites aceitáveis de produtividade e de custos para realizar a extração, entretanto o uso do GTA, aliado ao aumento da declividade contribuem para a diminuição da produtividade. O *harvester* obteve uma produtividade média de  $28,7 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  e um custo de produção de US\$  $4,59 \text{ m}^{-3}$  nos testes em Minas Gerais e  $15,15 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  e US\$  $9,16 \text{ m}^{-3}$  respectivamente em São Paulo. O *forwarder* em Minas Gerais obteve um custo de produção de US\$  $2,75 \text{ m}^{-3}$  e em São Paulo produtividade de  $36,21 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  com um custo de produção US\$  $2,64 \text{ m}^{-3}$ . Com isso concluiu-se que a aplicação destas máquinas na colheita em terrenos acidentados pode ser realizada com custos equivalentes a outras máquinas e com produtividade sem perdas significativas com o aumento da declividade.

**Palavras-chave:** Produtividade; Mecanização; Declividade.



## ABSTRACT

The advance of mechanized harvesting is one of the factors that contributes to the competitiveness indices of economic activity of forest production in Brazil. However, mechanized harvesting in steep terrain is still a technological challenge to be faced by forestry companies. This study aims to assess the productivity and operational and production costs of harvesting operations in mountainous terrain using a 911.3 X3M harvester and a 860.4 forwarder with traction auxiliary winch (GTA) in two different areas. Data was collected from two operational tests conducted in clear cut harvesting of 7 years old plantations of *Eucalyptus* spp. in areas of a company of Minas Gerais State and another company in the State of São Paulo. In the Minas Gerais areas the productivity of the harvester was evaluated in three different slope classes ( $0^{\circ}$  -  $20^{\circ}$ ,  $20.1^{\circ}$  -  $27^{\circ}$  and steeper than  $27.1^{\circ}$ ) and uphill and downhill operations. Additionally, operating costs and assembly production of harvester and forwarder was determined. In tests in São Paulo the harvester productivity in two slope classes -  $0^{\circ}$  to  $25^{\circ}$  and above  $25.1^{\circ}$  - were assessed, while average distance extraction (DME), the slope and the use or not-use of the winch in 5 treatments was evaluated for the forwarder. The results showed that the 911.3 X3M harvester is suitable to harvest *Eucalyptus* spp. in steep terrain since no influence of the slope in productivity was observed. The forwarder was effective to perform the extraction, however the use of the winch combined with increasing slopes contributed to decrease of productivity. The harvester obtained an average productivity of  $28.7 \text{ m}^3$  per machine hour, and a production cost of US\$ 4.59 per  $\text{m}^3$  in Minas Gerais and  $15.15 \text{ m}^3$  per machine hour and US\$ 9.16 per  $\text{m}^3$  respectively in São Paulo. The forwarder in Minas Gerais obtained an average productivity of  $31.79 \text{ m}^3$  per machine hour and a production cost of US\$ 2.75 per  $\text{m}^3$ , and in São Paulo  $36.21 \text{ m}^3$  per machine hour and US\$2.64 per  $\text{m}^3$  respectively.

**Key-words:** Productivity, Mechanization, Slope.



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – <i>HARWARDER</i> 801 COMBI.....	25
FIGURA 2 – DETALHE DO <i>DUAL HARWARDER</i> .....	25
FIGURA 3 – DETALHE DO <i>HARVESTERBESTEN</i> .....	27
FIGURA 4 – DETALHE DO <i>HIGHLANDER</i> .....	28
FIGURA 5 – <i>TIMBER PRO</i> TL 735 – B.....	28
FIGURA 6 – SISTEMA DE COLHEITA <i>CUT-TO-LENGTH</i> COM <i>HARVESTER</i> E <i>FORWARDER</i> COM GUINHO DE TRAÇÃO AUXILIAR.....	33
FIGURA 7 – PERFIL DO <i>HARVESTER</i> 911.3 X3M.....	36
FIGURA 8 – DETALHE DO SISTEMA DE TRAÇÃO DE ESTEIRAS DO <i>HARVESTER</i> 911.3 X3M.....	37
FIGURA 9 – <i>HARVESTER</i> 911.3 X3M OPERANDO EM RELEVO ACIDENTADO EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO. ....	38
FIGURA 10 – MÁQUINA DE EXTRAÇÃO <i>FORWARDER</i> MODELO 860.4.....	39
FIGURA 11 – DETALHE DO SISTEMA DE GUINCHO ACOPLADO E DESCIDA COM A ÁRVORE/TRONCO ÂNCORA.....	39
FIGURA 12 – ESQUEMA DA OPERAÇÃO DE CORTE COM EITO COMPOSTO POR QUATRO LINHAS ÁRVORES .....	41
FIGURA 13 – <i>FORWARDER</i> MODELO 860.4 REALIZANDO A OPERAÇÃO DE CARREGAMENTO.....	42
FIGURA 14 – PANORAMA DA ÁREA A APÓS A COLHEITA E REPLANTIO.....	43
FIGURA 15 – PANORAMA DA ÁREA B. ....	47
FIGURA 16 – PRODUTIVIDADE DO <i>HARVESTER</i> NAS PARCELAS EM DIFERENTES DECLIVIDADES. ....	68
FIGURA 17 – PERCENTUAIS DE TEMPOS DOS ELEMENTOS DO CICLO OPERACIONAL DO <i>HARVESTER</i> X3M EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL EM TRÊS CLASSES DE DECLIVIDADE NO SORTIMENTO DE 3,30 M COM CASCA.....	72
FIGURA 18 – PERCENTUAIS DE TEMPOS DOS ELEMENTOS DO CICLO OPERACIONAL DO <i>HARVESTER</i> X3M EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL EM TRÊS CLASSES DE DECLIVIDADE NO SORTIMENTO DE 6,00M COM CASCA.....	73

FIGURA 19 – PERCENTUAIS DE TEMPOS DOS ELEMENTOS DO CICLO OPERACIONAL DO <i>HARVESTER</i> X3M EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL EM TRÊS CLASSES DE DECLIVIDADE NO SORTIMENTO DE 6,30M SEM CASCA.....	73
FIGURA 20 – PERCENTUAIS DE TEMPO GASTO EM CADA ELEMENTO DO CICLO OPERACIONAL NO SORTIMENTO DE 3,30 METROS COM CASCA EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL NOS SENTIDOS DE OPERAÇÃO.....	76
FIGURA 21 – PERCENTUAIS DE TEMPO GASTO EM CADA ELEMENTO DO CICLO OPERACIONAL NO SORTIMENTO DE 6,00 METROS COM CASCA EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL NOS SENTIDOS DE OPERAÇÃO.....	77
FIGURA 22 – PERCENTUAIS DE TEMPO GASTO EM CADA ELEMENTO DO CICLO OPERACIONAL NO SORTIMENTO DE 6,30 METROS SEM CASCA EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL NOS SENTIDOS DE OPERAÇÃO.....	78
FIGURA 23. – VALORES DA PRODUTIVIDADE E PRODUTIVIDADE MÉDIA EM RELAÇÃO A DUAS CLASSES DE DECLIVIDADE ANALISADAS PARA O <i>HARVESTER</i> . ....	79
FIGURA 24 – DISTRIBUIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO <i>HARVESTER</i> EM DIFERENTES DECLIVIDADES ATÉ 25°.....	80
FIGURA 25 – DISTRIBUIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO <i>HARVESTER</i> EM DIFERENTES DECLIVIDADES ACIMA DE 25°.....	81
FIGURA 26 – VALORES DA PRODUTIVIDADE E PRODUTIVIDADE MÉDIA EM RELAÇÃO AOS TRATAMENTOS ANALISADOS PARA O <i>FORWARDER</i> .....	82
FIGURA 27 – DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO GASTO PELAS OPERAÇÕES PARCIAIS DO <i>HARVESTER</i> NAS DUAS CLASSES DE DECLIVIDADE. ....	84
FIGURA 28 – DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO GASTO PELAS OPERAÇÕES PARCIAIS DO <i>FORWARDER</i> NOS 5 DIFERENTES TRATAMENTOS. ....	89
FIGURA 29 – DISTRIBUIÇÃO DAS OCORRÊNCIAS EM HORAS DO TEMPO TOTAL EM QUE O <i>HARVESTER</i> X3M 911.3 ESTEVE PARADO DURANTE O PERÍODO DE TESTES.....	921

FIGURA 30 – DISTRIBUIÇÃO DAS OCORRÊNCIAS EM HORAS DO TEMPO TOTAL EM QUE O <i>FORWARDER</i> 860.4 ESTEVE PARADO DURANTE O PERÍODO DE TESTES.....	92
FIGURA 31 – COMPONENTES DO CUSTO OPERACIONAL DO <i>HARVESTER</i> X3M NA ÁREA A COM 60 % DE TAXA DE UTILIZAÇÃO. ....	96
FIGURA 32 – COMPONENTES DO CUSTO OPERACIONAL DO <i>HARVESTER</i> X3M NA ÁREA B COM 60 % DE TAXA DE UTILIZAÇÃO. ....	97
FIGURA 33 – COMPONENTES DO CUSTO OPERACIONAL DO <i>FORWARDER</i> NA ÁREA A COM 60 % DE TAXA DE UTILIZAÇÃO. ....	98
FIGURA 34 – COMPONENTES DO CUSTO OPERACIONAL DO <i>FORWARDER</i> NA ÁREA A COM 60 % DE TAXA DE UTILIZAÇÃO. ....	99
FIGURA 35 – DIAGRAMA DE <i>SPIDERPLOT</i> DAS SETE PRINCIPAIS VARIÁVEIS DOS CUSTOS OPERACIONAIS DO <i>HARVESTER</i> NAS ÁREAS A E B E TAXA DE UTILIZAÇÃO DE 60 %.....	101
FIGURA 36 – DIAGRAMA DE <i>SPIDERPLOT</i> DAS SETE PRINCIPAIS VARIÁVEIS DOS CUSTOS OPERACIONAIS DO <i>FORWARDER</i> NAS ÁREAS A E B E TAXA DE UTILIZAÇÃO DE 60 %.....	103

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – LIMITES DE DECLIVIDADE PARA AVALIAÇÃO DE TERRAS .....	32
TABELA 2 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL COM CLASSES DE DECLIVIDADE E SORTIMENTOS NA ÁREA A. ....	45
TABELA 3 – TRATAMENTOS USADOS NO ESTUDO COM O <i>FORWARDER</i> E AS VARIÁVEIS QUANTO A DECLIVIDADE, DISTÂNCIA MÉDIA DE EXTRAÇÃO E USO DO GUINCHO. ....	51
TABELA 4 – CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS E CENÁRIOS .....	56
TABELA 5 – VALORES ADOTADOS PARA AQUISIÇÃO DE MÁQUINAS NOVAS ENTREGUES NA FLORESTA PELO FABRICANTE. ....	58
TABELA 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA PRODUTIVIDADE MÉDIA EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE.....	68
TABELA 7 – PRODUTIVIDADES EM $M^3 HE^{-1}$ NAS CLASSES DE DECLIVIDADE E COMPRIMENTOS DE TORA.....	69
TABELA 8 – CORRELAÇÃO DA VARIÁVEL PRODUTIVIDADE VERSUS DECLIVIDADE E DME. ....	83
TABELA 9 – PORCENTAGEM DE EFICIÊNCIA OPERACIONAL, DISPONIBILIDADE MECÂNICA E TAXA DE UTILIZAÇÃO DAS MÁQUINAS DURANTE O PERÍODO DE TESTES.....	93
TABELA 10 – CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO NAS ÁREAS ESTUDADAS E COM DIFERENTES CENÁRIOS. ....	95

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE CLASSES DE DECLIVIDADE E ELEMENTOS DO CICLO OPERACIONAL.....	87
--	----

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1. QUESTÃO DE PESQUISA.....	18
1.2. OBJETIVOS .....	18
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
2.1. COLHEITA FLORESTAL.....	19
2.1.1. Corte Florestal.....	19
2.1.2. Extração Florestal .....	20
2.1.3. Sistemas de Colheita.....	21
2.1.4. Sistemas de colheita predominantes no Brasil.....	23
2.1.4. Novas tecnologias na colheita de madeira .....	24
2.2. OPERAÇÕES DE COLHEITA EM TERRENOS DECLIVOSOS .....	29
2.3. CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO DA COLHEITA FLORESTAL...	33
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
3.1. DESCRIÇÃO DAS MÁQUINAS.....	36
3.1.1. <i>Harvester</i> .....	36
3.1.2. <i>Forwarder</i> .....	38
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE COLHEITA .....	40
3.2.1. Descrição operacional do corte florestal.....	40
3.2.2 Descrição operacional da extração .....	41
3.3. DETERMINAÇÃO E COLETA DE DADOS NA ÁREA A .....	42
3.3.1. Caracterização da área .....	42
3.3.2. Coleta dos dados .....	43
3.3.3 Estudo de tempos e movimentos no corte florestal na área A .....	43
3.3.4. Delineamento Estatístico.....	44
3.4. DETERMINAÇÃO E COLETA DE DADOS NA ÁREA B .....	46
3.4.1. Caracterização da área .....	46
3.4.2. Coleta dos dados .....	47
3.4.3. Estudo de tempos e movimentos no corte florestal na área B .....	48
3.4.4. Estudos de tempos e movimentos na extração na área B .....	49
3.4.5. Delineamento estatístico .....	50
3.5. DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO E OPERACIONAL.....	53
3.5.1. Determinação da produtividade na Área A.....	53
3.5.2. Determinação da produtividade na Área B.....	54

3.6. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO .....	55
3.6.1. Eficiência Operacional e Disponibilidade Mecânica .....	55
3.6.2. Determinação dos custos operacionais.....	57
3.6.3. Determinação dos custos de produção .....	65
3.7. ATIVIDADES DURANTE O PERÍODO DE PARADA DAS MÁQUINAS.....	66
3.8. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	66
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>67</b>
4.1. AVALIAÇÃO TÉCNICA E OPERACIONAL .....	67
4.1.1. Área A.....	67
4.1.2. Área B .....	79
4.2. ATIVIDADES DURANTE O PERÍODO DE PARADA DAS MÁQUINAS.....	90
4.3 CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO .....	93
4.3.1. Eficiência operacional e disponibilidade mecânica no período de testes .....	93
4.3.2. Custos .....	94
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>104</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>105</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>106</b>



## 1. INTRODUÇÃO

As florestas plantadas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., após um período de crescimento reduzido devido à crise financeira mundial de 2008/2009, iniciaram um novo ciclo virtuoso de expansão, que prevê, para os próximos 5 anos, uma adição de novas áreas de plantio à média de 500 mil hectares por ano (aproximadamente 8 % sobre o total de 6,5 milhões de ha em 2010), superando os registros de 2005 a 2009, que indicam uma taxa histórica de crescimento de 3,5 % ao ano (ABRAF, 2013).

Essa projeção de crescimento acelerado de novas áreas plantadas decorre da crescente demanda de produtos florestais como celulose e papel, painéis de madeira industrializada e de produtos siderúrgicos que utilizam o carvão vegetal originário de florestas plantadas.

Os altos valores de Incremento Médio Anual (IMA) do eucalipto, em relação ao IMA do pinus, têm ocasionado maior volume de investimentos no primeiro gênero em detrimento do segundo, observando-se até mesmo redução na área de plantio existente para o pinus a cada ano.

Visando atender essa crescente demanda de expansão do plantio em novas áreas, vários recursos têm sido usados pelas principais empresas do setor, de modo a ampliar as fronteiras das florestas plantadas no país. Devido à diminuição de terras disponíveis para florestas plantadas nos estados das regiões Sul e Sudeste e o seu custo elevado em relação ao restante do País têm motivado a migração de novos plantios para os estados do Centro-Oeste e Nordeste.

Com isso, há um aumento na responsabilidade de todo contingente de trabalhadores da área de colheita e transporte florestal, que deve atender ao acréscimo de madeira demandada, buscando utilizar os sistemas que alcancem a sustentabilidade econômica, ambiental e social.

A evolução da mecanização das operações de colheita de madeira proveniente de florestas plantadas vem destacando o Brasil como um grande consumidor dentro dos principais mercados de máquinas especializadas no corte, extração e carregamento de madeira.

O rápido crescimento atingido pelas plantações florestais dentro do território brasileiro aliado a alta demanda por madeira oriunda destas florestas no mercado

garantem ao setor florestal brasileiro destaque internacional. Entretanto, por caracterizar-se como um cultivo de médio a longo prazo, a silvicultura, diferentemente das culturas agrícolas, muitas vezes é desenvolvida em áreas que não possuem características topográficas desejáveis para o uso de máquinas florestais de alta performance durante as operações de colheita.

No Brasil são consideradas as classes de 25° a 45°, como declividades em que seu uso seja destinado ao manejo florestal sustentável (BRASIL, 2012) e em declividades acima de 45° são as áreas de preservação permanente, onde não são permitidas operações florestais (BRASIL, 2002).

Empresas florestais que possuem áreas com declividades acentuadas geralmente adotam métodos diferentes de colheita, sendo comuns o uso da motosserra na etapa de corte e na etapa de extração tratores guincho e torres. Por tornar-se necessário um maior número de mão de obra para as operações com motosserra e consequente amarração das árvores nos cabos, a colheita florestal em áreas declivosas é considerada um dos grandes desafios da ciência florestal, no que se refere a performance das operações em situações adversas e na busca e adoção de técnicas e tecnologia que garantam maior qualidade e segurança ao trabalhador e menores custos operacionais.

As empresas florestais durante as etapas da colheita de madeira, geralmente trabalham visando altos índices de rendimento e produtividade. Isto somente é possível com a adoção de metas e objetivos que, gerenciados corretamente, garantem um bom desempenho ao sistema de colheita quanto ao seu dimensionamento, sustentabilidade e retorno financeiro.

Historicamente as atividades de corte florestal em áreas declivosas são realizadas com ferramentas manuais auxiliares e com a motosserra. Tais operações de corte nestas situações exigem extrema cautela e capacitação por parte do operador de motosserra que deve garantir que a árvore seja derrubada em uma área segura e que não sofra danos. A derrubada realizada com motosserra em terrenos inclinados exige também, elevado preparo físico e impõe condições de trabalho extremas, pois o motosserrista deve, além de carregar os equipamentos e a motosserra, se deslocar por entre árvores em um terreno que não lhe garante muita estabilidade.

Custos relacionados a possíveis acidentes de trabalho no setor florestal são

atualmente uma das principais temeridades dentre as grandes corporações. Tais acidentes estão relacionados ao método de trabalho empregado em determinada situação e podem trazer consequências extremamente negativas tanto para o trabalhador como para o empregador, além de serem em alguns casos de natureza fatal. O uso de novas tecnologias como a mecanização das operações de colheita garantem ao empreendimento maior segurança e produtividade quando comparados ao uso de motosserra e guinchos de arraste.

O corte e a extração em áreas de declividade acima de 25° tem sido um desafio técnico e operacional para a engenharia de equipamentos. Muitas tecnologias vêm sendo desenvolvidas no intuito de realizar estas operações com segurança, atender as exigências de ergonomia e custos adequados à competitividade do mercado voltado a produção de matéria prima para abastecer as indústrias de base florestal.

O uso de equipamentos para operações extremas se apresenta atualmente como uma alternativa promissora para a colheita nesta característica de terreno. Isso se dá em função destes equipamentos combinarem capacidade técnica em desempenhar sua função a custos de manutenção compatíveis ao mercado mundial, promover uma operação segura para os operários envolvidos no processo e atender os padrões de ergonomia exigidos atualmente pelas normas aplicáveis.

Um dos principais fatores limitantes a mecanização com *harvester* de pneus em áreas declivosas foi evidenciada por Burla (2008), onde na operação de corte no aclave a máquina não realizou as operações em declividades superiores a 25°, no entanto o *harvester* conseguiu realizar as operações de corte em situação de declive em até 30°. Baseando-se no propósito da mecanização de um sistema de colheita de madeira para terrenos acidentados foram desenvolvidos pela empresa Komatsu Forest, por meio da sua filial da Alemanha, dois tratores: o *harvester* modelo 911.3 X3M e o *forwarder* modelo 860.4 com guincho de tração auxiliar (GTA), que em áreas com declividades entre 20° e 38° possuem condições de realizar a colheita com o objetivo de garantir maior segurança ao trabalho de corte e extração de madeira.

No Brasil não existem experiências até este trabalho com este sistema sendo que internacionalmente estudos com o *harvester* 911.3 X3M são restritos a publicações realizadas por pesquisadores da Alemanha e da Áustria. Quanto ao

*forwarder* com guincho de tração auxiliar os trabalhos são mais escassos ainda e se restringem a descrições técnicas e apresentação de inovações tecnológicas.

Assim, estudos sobre as variáveis que influenciam a produtividade na colheita florestal em terrenos declivosos são imprescindíveis no planejamento da colheita, visando redução de custos e melhor aproveitamento do sistema.

## 1.1. QUESTÃO DE PESQUISA

Esta pesquisa baseou-se na seguinte questão orientadora:

A colheita de madeira mecanizada com o *harvester* 911.3 X3M e o *forwarder* 860.4 com guincho de tração auxiliar em terrenos declivosos pode ser realizada dentro de padrões técnicos, econômicos e ambientais aceitáveis em plantios de *Eucalyptus* spp no Brasil?

## 1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a produtividade e os custos operacionais e de produção do sistema de colheita florestal mecanizado de toras curtas com o *harvester* modelo 911.3 X3M e o *forwarder* modelo 860.4 com guincho de tração auxiliar em duas áreas de plantações de *Eucalyptus* spp. em relevo montanhoso e escarpado, na região sudeste do Brasil.

Como objetivos específicos, citam-se:

- (i) Determinar o desempenho operacional do *harvester* da marca Komatsu Forest modelo 911X3M em diferentes classes de declividade, sentidos de operação e corte com distintos comprimentos de tora;
- (ii) Analisar a produtividade das máquinas *harvester* 911.3 X3M e *forwarder* 860.4 com guincho em duas classes de declividade do terreno;
- (iii) Determinar os custos operacionais e de produção da operação das máquinas em duas áreas acidentadas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. COLHEITA FLORESTAL**

De acordo com Machado (2002) a colheita florestal é o conjunto de operações realizadas no maciço florestal que tem como objetivo preparar e extrair a madeira até o local de transporte, utilizando técnicas e padrões pré-estabelecidos. Duas operações primordiais compõe basicamente a colheita, sendo elas: o corte florestal e a extração.

Com a abertura do mercado as importações na década de 90 intensificou o uso de máquinas na colheita florestal, propiciando ganhos significativos em termos de produtividade, redução do índice de acidentes e dos custos de produção, dentre outros (MACHADO, 2002).

Muitas variáveis estão relacionadas à produtividade na colheita florestal mecanizada. Malinovski *et al.*, (2006) identificaram 37 variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira, relacionadas ao povoamento, às características físicas do terreno e ao planejamento das operações nas unidades de colheita. A declividade do terreno e a distância de extração, segundo estes autores, são exemplos de variáveis que podem afetar a produtividade nas operações de corte (no caso da variável declividade) e extração (no caso da declividade e da distância de extração).

Segundo Simões e Fenner (2010a) as pesquisas relacionadas às variáveis que influenciam a produtividade da colheita de madeira tornaram-se imperativas, visando a minimização dos custos e otimização operacional.

Existem critérios importantes a serem analisados na tomada de decisão sob a opção entre um método de colheita e outro, onde Uhl (2003) aponta os principais: área de aplicação; máquinas e equipamentos; procedimentos operacionais; desempenho e custo; cuidados especiais; ergonomia e segurança do trabalho e uma avaliação conclusiva.

#### **2.1.1. Corte Florestal**

Sant'Anna (2002) descreve o corte florestal como a primeira etapa da colheita

florestal e com grande influência na realização das operações subsequentes. Costuma-se constituir o corte as operações de derrubada, desgalhamento, toragem e preparo da madeira para transporte, sendo este grupo de operações variáveis de acordo com o sistema de colheita utilizado e seu grau de mecanização (SANT'ANNA, 2002).

O corte pode ser realizado manualmente (uso de ferramentas sem propulsão mecânica), semimecanicamente (uso da motosserra) ou mecanicamente (uso do *harvester* ou *feller buncher* como exemplos). Segundo Sant'Anna (2002) o *harvester* é composto por uma máquina base de pneus ou de esteira, uma grua e um cabeçote. Grammel (1998) descreveu o *harvester* ou colhedor florestal como máquina que pode possuir diferentes tipos de rodados e que possui um cabeçote desenvolvido para derrubar e processar árvores.

Uusitalo (2010) aponta que o uso de escavadeiras hidráulicas como máquinas base *harvester* vem crescendo em popularidade principalmente em países da América do Sul e em partes da Ásia. O uso deste maquinário garante maior liquidez na venda das máquinas após os anos de uso em função da sua vida útil que se difere das máquinas “*purpose-built*”, que são aquelas desenvolvidas especificamente para realizar exclusivamente as operações a elas determinadas e apresentam nível de tecnologia voltada à ergonomia mais evoluída quando comparados aos equipamentos que foram adaptados à operação de colheita florestal.

### 2.1.2. Extração Florestal

A definição de extração florestal, segundo Seixas (2008), consiste na movimentação de madeira desde o local de corte até a estrada, carreador ou o pátio intermediário. É a segunda etapa da colheita florestal sendo subsequente ao corte florestal e no Brasil, quando mecanizada, é comumente realizada pelo *forwarder* (quando recebe o nome de baldeio) ou pelo *skidder* (quando recebe o nome de arraste). O baldeio geralmente é realizado pelo *forwarder* que segundo Seixas (2008) o caracteriza como um trator florestal autocarregável articulado responsável pela retirada da madeira do interior do talhão de modo que a madeira tenha o mínimo ou nenhum contato com o solo.

De modo resumido Uusitalo (2010) identifica os seguintes modos de extração:

arraste ou carregamento manual, arraste animal, arraste com trator de esteiras *bulldozer*, mecanizado com *skidder*, *forwarder*, trator com guincho arrastador, cabos aéreos e helicópteros.

Existem no Brasil outros métodos de extração como a extração por meio de animais, manual, mecanizada com guincho arrastador e com cabos aéreos, sendo as três últimas frequentemente usadas na extração em terrenos declivosos. De modo geral os métodos de extração de madeira utilizados no Brasil podem causar danos ambientais consideráveis e possuem elevado custo operacional em função de um menor rendimento, portanto necessitam serem analisados antes de serem postos em operação (FIEDLER, 2012).

Bantel (2010) estudando os tipos de extração de madeira em locais de relevo montanhoso apresentou seis tipos diferentes sendo: extração manual, podendo ser por rolamento com auxílio de argolões, através de calhas ou até mesmo o tombo; com o auxílio de animais; mecanizada com *Skidders* que trabalham arrastando toras em faixas de declividade que podem chegar a 17° ou 22° dependendo do volume individual das árvores, com o uso de guinchos acoplados em tratores e o trator agrícola com guincho; além do “*yarder*” e do uso de helicópteros e balões que podem realizar a extração em terrenos de até 45° de declividade.

Outro método mecanizado de extração interessante é o *Shovel Logging* considerado uma técnica de se remover madeira, que pode ser definida como “movimentação da madeira por escavadeira hidráulica”. Uma máquina base de esteiras, podendo ser uma escavadeira adaptada ou mesmo um *Shovel Logger* (máquina construída para esta finalidade) é equipada com um implemento o qual possui a função de movimentar a madeira, feixes de árvores ou toras. O desenvolvimento desta técnica de extração de madeira se deu principalmente devido a dois fatores: a busca por uma solução para a remoção de árvores em locais montanhosos ou locais com solos macios, e como consequência do sucesso da utilização de escavadeiras hidráulicas na construção (CASTRO, 2012).

### 2.1.3. Sistemas de Colheita

O sistema de colheita florestal pode ser definido como um conjunto de atividades integradas entre si, que permitem o fluxo constante de madeira, evitando-



se pontos de estrangulamento e levando os equipamentos a sua máxima utilização (MACHADO, 2002). Basicamente a colheita compõe-se das atividades de corte florestal seguidas da extração e do carregamento.

Segundo Malinovski *et al.*, (2006a) os sistemas de colheita podem ser classificados quanto ao comprimento das toras e à forma como são extraídas até o local de processamento. Malinovski *et al.*, (2006a) propuseram a seguinte classificação de sistemas de colheita florestal:

- Sistema de toras curtas (*cut-to-length*): a árvore é processada no local de derrubada, extraída para a margem da estrada ou para o pátio temporário em forma de pequenas toras, com menos de seis metros de comprimento sendo considerado o sistema mais antigo em uso no Brasil.
- Sistema de toras longas (*tree-length*): a árvore é semiprocessada, geralmente desgalhada e destopada, no local de derrubada e extraída até a margem da estrada ou ao pátio temporário em forma de fuste, com mais de seis metros de comprimento.
- Sistema de árvores inteiras (*full-tree*): a árvore é derrubada e extraída para a margem da estrada ou para o pátio de processamento, onde é processada.
- Sistema de árvores completas (*whole-tree*): a árvore é arrancada com parte de seu sistema radicular e extraída para a margem da estrada ou para o pátio temporário, onde é processada.
- Sistema de cavaqueamento (*chipping*): a árvore é derrubada e processada no próprio local, sendo transportada em forma de cavacos para um pátio de estocagem ou diretamente para a indústria.

Uusitalo (2010) nomeia os sistemas de modo diferente apresentando a existência de quatro métodos de colheita: toras curtas, árvores inteiras, toras longas e cavaqueamento; caracterizando-os basicamente através do modo em que a madeira chega à beira da estrada. O sistema de colheita por outro lado é baseado na combinação de equipamentos, ferramentas, pessoas, animais, etc (UUSITALO, 2010). Portanto a extração pode influenciar o sistema de colheita e não o método, onde, por exemplo, o processo de extração da madeira em toras até a beira da estrada é considerado um método de toras curtas, enquanto que o uso de um

*harvester* e um *forwarder* é considerado um sistema de toras curtas.

Deste modo, Uusitalo (2010) apresenta os mais típicos e comuns sistemas de colheita usados no mundo como:

- Sistema nórdico de colheita de toras curtas mecanizado;
- Sistema de toras curtas semimecanizado;
- Sistema de colheita a cabo;
- Sistema de colheita convencional de árvores inteiras: *Feller-buncher*, *Skidder* de garra e processador;
- Sistema de colheita com máquina base escavadeira e cabeçote *harvester*;
- Sistema de colheita *Shovel*;
- Sistema de derrubada semimecanizada e extração por *Skidder* de cabo;
- Sistema de derrubada semimecanizada e extração animal ou por trator de esteiras *Bulldozer*.

Dentre os sistemas de colheita é possível classificar a mecanização das operações florestais em três níveis: parcialmente mecanizada, onde parte das operações são realizadas manualmente, com auxílio de animais ou com o uso da motosserra; altamente mecanizada, quando todas as etapas das operações possuem o uso da motosserra, principalmente no corte florestal e tratores para a realização da extração e completamente mecanizada, onde máquinas especializadas realizam o corte e a extração florestal (FLEISCHER, 2007).

Para a definição sobre qual método e sistema de colheita adotar em uma área é necessário analisar alguns critérios na tomada de decisão sob a opção entre um método e ou sistema de colheita e outro. Uhl (2003) aponta alguns dos principais: área de aplicação; máquinas e equipamentos; procedimentos operacionais; desempenho e custo; cuidados especiais; ergonomia e segurança do trabalho e uma avaliação conclusiva.

#### **2.1.4. Sistemas de colheita predominantes no Brasil**

O Brasil é caracterizado por possuir na maioria das grandes empresas florestais especializadas sistemas de colheita mecanizados que utilizam na sua

maioria os sistemas de colheita *cut-to-length* e *full-tree*. Já as pequenas propriedades rurais e pequenos empreendimentos florestais se valem do corte semimecanizado e extração com tratores agrícolas adaptados.

A evolução nas novas tecnologias aplicadas na colheita de madeira é motivada pela necessidade de melhoria das condições de trabalho, redução da mão de obra, aumento da competitividade com o incremento da produtividade e novas alternativas de produção. Suécia, Finlândia, Alemanha, Áustria, Estados Unidos e Canadá são considerados os principais pólos de desenvolvimento de máquinas florestais, muito devido às condições climáticas adversas, cabendo ao setor florestal brasileiro a adaptação da tecnologia originária destes países às condições florestais brasileiras, ou o próprio desenvolvimento de equipamentos de menor porte e aplicação mais específica (SEIXAS, 2010).

É possível observar a importância dada a colheita e transporte de madeira quando se observa os valores gastos pelas empresas da ABRAF, pois do ano de 2011 para 2012 houve um aumento de 233,3 % nos investimentos gastos apenas nessas duas áreas e que a percentagem gasta em colheita e transporte corresponde a 43,7 % do custo total de todo investimento das empresas (ABRAF, 2013).

Porém a tendência analisada é que ocorra um maior investimento futuro entre 2013 e 2017 para o plantio e para a indústria (40,9 % e 32,1 % respectivamente), enquanto que a área de colheita e transporte terá um investimento de apenas 12,3 % da porcentagem total de investimento (ABRAF, 2013).

#### **2.1.4. Novas tecnologias na colheita de madeira**

Uma nova tecnologia que tem o intuito de reduzir o tempo de operação de um sistema de toras curtas em um sistema integrando corte, geralmente feito pelo *harvester*, e extração em uma única máquina, *harvester-forwarder* ou *harwarder* (FIGURA 1), vem sendo utilizado e testado desde o início do ano 2000 por diferentes fabricantes de máquinas florestais. Algumas de suas vantagens referem-se ao trabalho menos monótono, a menor frequência de tráfego em solos “sensíveis” e a melhor performance dos sistemas de desbaste com *harvesters* (HÄSELER, 2008).



FIGURA 1 – HARWARDER 801 COMBI.  
FONTE: HUMMEL ET AL., 2007

O *harwarder* pode ter o espaço de carga montado em uma estrutura móvel, de maneira que as toras possam ser carregadas na máquina a partir de várias direções de corte das árvores.

Uma das últimas tecnologias é o Dual *Harwarder* (FIGURA 2) que é uma máquina de colheita de madeira, onde, em poucos minutos, uma única máquina pode se transformar de um *harvester* para um *forwarder*, e vice-versa.



FIGURA 2 – DETALHE DO DUAL HARWARDER.  
FONTE: PONSEE (2013)

O Buffalo Dual, da marca Finlandesa Ponsee, permite que o corte e o baldeio sejam executados de forma flexível, levando em conta a geografia dos talhões, o diâmetro e o volume das árvores e a carga de trabalho da frota de máquinas, otimizando o uso e maximizando a capacidade da máquina.

Este *harwarder* tem capacidade para 14 ton e, de acordo com Mizaras *et al.*, (2008), uma produtividade de corte de  $30,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e uma produtividade de baldeio de  $12,4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

De acordo com Zinkevicius *et al.*, (2013), a transformação de um *forwarder* em um *harvester* dura em média 22 minutos e inclui a reprogramação do computador, a instalação do cabeçote *harvester* e a desmontagem da grua e do pilar do *forwarder*. Enquanto que, com 10 minutos em média, a transformação de um *harvester* em um *forwarder* se dá pela reprogramação do computador, a instalação da grua e do pilar do *forwarder* e a desmontagem do cabeçote *harvester*.

Para a realidade brasileira o *harwarder* ou *Combi*, pode parecer um pouco inadequado em razão dos altos índices de produtividade e a dinâmica que é aplicada nos plantios homogêneos. No entanto para alguns casos como em florestas plantadas que possuem como característica um regime de manejo onde é dada a maior atenção aos tratamentos silviculturais como o desbaste e a poda para obtenção de árvores de futuro com maior padrão de qualidade; o uso deste modelo de trator pode ser indicado para estudos de tempo e movimento para avaliação do desempenho. Basicamente o trator que realiza o corte e baldeio em uma só máquina implica em menor produtividade, no entanto para uma melhor sustentabilidade do sítio e menor impacto a árvores remanescentes e qualidade do produto colhido seu desempenho pode garantir melhores resultados.

Fleisher (2007) descreveu a primeira apresentação de um sistema de colheita operado por intermédio de um sistema de controle remoto como sendo apresentada pela firma sueca Fiberback AB.

Esta tecnologia que ainda não é aplicada no Brasil também foi descrita por Seixas (2010) que apresentou que o crescente custo da mão de obra e o aumento das restrições de segurança no ambiente de trabalho foram causas do desenvolvimento do *harvesterBesten* (FIGURA 3), fabricado pela companhia sueca Gremo AB, operado por controle remoto a partir de um *forwarder*, constituindo-se de uma máquina com seis rodas, equipada com esteiras, sem cabine e sem operador.

Operando em um conjunto formado por um *harvester* e dois *forwarders*, entre suas vantagens estão a melhor condição ergonômica para os operadores, menor investimento e o carregamento, logo após o corte das árvores, direto na caixa de carga do *forwarder*. Comparado ao sistema tradicional, o inovador conceito *Besten driverless* é altamente competitivo em operações de corte final (SEIXAS, 2010).

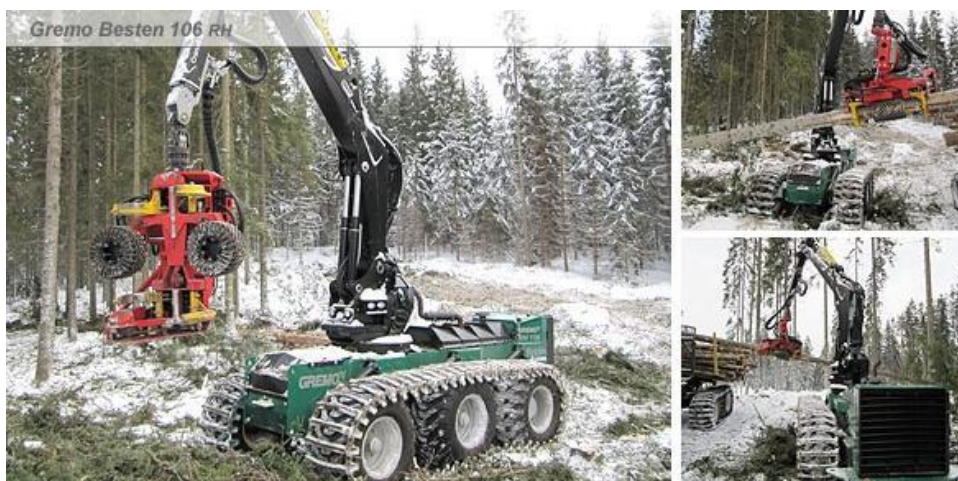


FIGURA 3 – DETALHE DO HARVESTERBESTEN.  
FONTE: GREMO (2011)

De acordo com Hummel *et al.*, (2005), Fleischer (2007) e Biernath (2012) em terrenos com declividades acentuadas as principais novas tecnologias nas máquinas de corte florestal, além do *harvester* X3M 911.3 estudado nesta tese, são:

- *Königstiger* – é um trator harvester especializado em colher árvores em declividades até 33° e possui um sistema de nivelamento da cabine que garante maior área de visão ao operador.
- *Highlander* (FIGURA 4) – que é composto por uma máquina base de seis pneus onde o detalhe em que garante ao chassi da máquina a possibilidade de alongar-se e encurtar-se independentemente um lado do outro garante a característica de aplicabilidade desta máquina em terrenos declivosos e íngremes.





FIGURA 4 – DETALHE DO HIGHLANDER.

- *Timber Pro TL 735 – B* (FIGURA 5) – é utilizado em áreas montanhosas e se caracteriza por uma máquina base de esteiras com um cabeçote *harvester* e um cabo acoplado a lança da máquina para extrair árvores inteiras para posterior processamento das mesmas. Esta máquina também possui um pé de apoio alocado na lança que serve para apoiar à lança no solo, trazendo maior estabilidade a máquina, o que garante o processamento das árvores em terrenos não planos.



FIGURA 5 – *TIMBER PRO TL 735 – B*.  
FONTE: HUMMEL ET AL., 2007.



## 2.2. OPERAÇÕES DE COLHEITA EM TERRENOS DECLIVOSOS

De acordo com Sant'Anna (2002) o corte florestal que compreende as operações de derrubada, desgalhamento, destopamento, traçamento e pré-extração é a primeira etapa da colheita florestal e quando estas operações são realizadas em terrenos declivosos no Brasil geralmente são realizadas com um grande contingente de mão de obra, onde o método semimecanizado predomina com o uso da motosserra, principalmente na derrubada das árvores. Os sistemas de colheita aplicados ao corte e extração de madeira em locais de relevo montanhoso possuem uma característica básica em que o corte ocorre na maioria das vezes através do método semimecanizado, ou seja, com o uso de motosserras principalmente nas operações de derrubada (BANTEL, 2010). Tendo em vista as dificuldades impostas aos trabalhadores florestais na colheita semimecanizada em terrenos acidentados, Sant'Anna e Malinovski (1999), apontaram que, em declividades variando de 11° a 37°, foi nas operações de derrubada que ocorreram mais acidentes.

Após o corte florestal as árvores são extraídas do povoamento florestal através de métodos mecanizados e em algumas vezes manuais. A extração mecanizada no Brasil em regiões montanhosas utiliza os seguintes maquinários: trator agrícola com guincho arrastador, trator agrícola com guincho arrastador suspenso, *forwarders* com semiesteiras adaptadas (até 24° de declividade), *skidders* (até 24° de declividade) e os cabos aéreos (*skylines*).

Balle (2012) relata que em áreas de colheita em terrenos acidentados do Estado de Baden Württemberg na Alemanha, o sistema de colheita predominante é o sistema de toras longas, onde as árvores são derrubadas e processadas (desgalhadas e destopadas) dentro do maciço florestal com o uso de motosserras ou de acordo com a distância entre ramais de 40 metros com o uso de *harvesters* de esteira, especializados para declividades acima de 17° e que após as operações de corte a extração ocorre por meio de cabos aéreos ou *skidders* de cabos.

Portanto, as operações se resumem em sua maioria na derrubada das árvores e em seguida na sua extração, que geralmente é feita com tratores agrícolas adaptados com guinchos arrastadores, *skidders* e cabos aéreos, podendo também serem realizados, além da derrubada, o traçamento e o desgalhamento ainda no local de derrubada, porém essas operações são realizadas na sua maioria após a

extração. Recentemente no Brasil alguns trabalhos científicos com relação ao corte mecanizado em terrenos declivosos foram publicados no meio científico dentre estes cita-se: Bantel (2010), Simões e Fenner (2010a), Leite (2012) e Fernandes *et al.*, (2013).

De acordo com Bantel (2010) atualmente é significativa a procura por áreas com declive acentuado e degradadas, que geralmente são impróprias para a agricultura e pecuária, para serem ocupadas por florestas plantadas de produção, principalmente nos estados de maior presença na economia florestal. Além disso, estudos realizados por Sauter e Latsch (2011) mostram que em áreas montanhosas da Europa a mecanização agrícola avançou no que concerne ao limite de declividade de 19° para 24°, para a cultura de forrageiras, sendo mesmo assim não comparável à colheita de madeira que tende a ser realizada em declividades mais acentuadas. Sauter *et al.*, (1998) atestaram que sob boas condições geológicas e climatológicas um *harvester* de pneus pode chegar em casos extremos ao limite operacional de até 31° de declividade. Em trabalho realizado por Fernandes *et al.*, (2013) um *harvester* John Deere 1270D de pneus também foi estudado em áreas que atingiram como limite operacional 30° de declividade.

O uso de métodos de colheita onde é necessária a presença de elevado número de trabalhadores dentro do talhão vem sendo questionado tanto que Fiedler *et al.*, (2012) apontam que além de geralmente necessitar uma elevada quantidade de mão de obra, o deslocamento dos trabalhadores em áreas acidentadas, o alto desgaste físico das operações, o perigo de acidentes e o baixo índice de conforto térmico têm como consequência problemas de sobrecarga física e metabólica dos trabalhadores.

O fato de serem vistos como alternativas únicas para a extração em terrenos declivosos, não elimina, no uso de guinchos arrastadores e cabos aéreos, o uso de mão de obra no local de amarração das toras nos cabos, o que pode ser desvantajoso sob a ótica da engenharia de segurança do trabalho e ergonomia com o risco de acidentes e lesões por elevado esforço físico.

Outro fator importante, que muitas vezes desfavorece o uso dos guinchos arrastadores e cabos aéreos, está ligado ao fato de que as árvores ao serem extraídas até a beira da estrada ou talhão, chegam muitas vezes danificadas em razão do contato das mesmas com tocos da derrubada e outros obstáculos (pedras,

buracos, etc) encontrados na linha de arraste, reduzindo assim o aproveitamento e a qualidade das mesmas.

De acordo com Leite *et al.*, (2012) a utilização do guindaste pode ser uma alternativa para a extração de madeira em terrenos com topografia acidentada e desfavorável, por facilitar o deslocamento de madeira reduzindo os impactos sobre o solo e por possibilitar o içamento da madeira até as margens da estrada onde o empilhamento pode ser facilitado, proporcionando assim vantagens ambientais, operacionais e econômicas.

Outro uso de máquinas em terrenos declivosos é apresentado por Castro (2012) que aponta que o *shovel logging* garante que as máquinas venham a trabalhar em declividades de até 22°, podendo atuar em conjunto com *feller bunchers* e *harvesters*.

Acar e Unver (2013) apresentam estudo com o sistema de calhas utilizado no Turquia para a extração de toras em terrenos com 17° de declividade média e distância média de extração de 140 m, onde foram observadas produtividades de 70 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e 43 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

Como avanço tecnológico no uso de máquinas de corte e extração como o *harvester* e o *forwarder* em terrenos declivosos, é possível citar o acoplamento a estas máquinas do sistema de tração auxiliar com uso de um guincho que assume a sigla de GTA (guincho de tração auxiliar). A primeira máquina a utilizar um guincho de tração auxiliar foi desenvolvida na Suíça por *Herzog Forsttechnik* em 2008 (WEGMANN, 2009). Este sistema cobriu uma lacuna que havia na mecanização florestal em áreas declivosas, possibilitando a extração com o *forwarder*, causando mínimos danos ao solo em áreas onde o emprego de outros sistemas acarretaria em custos mais elevados (THEES *et al.*, 2011). De acordo com Biernath (2012) atualmente o guincho de tração auxiliar é ofertado por quase todos os fabricantes de máquinas, podendo ser acoplado tanto no *harvester* como no *forwarder*.

A colheita de madeira realizada em terrenos onde as condições operacionais são dificultadas em razão da topografia do local, de modo geral, acarreta um maior custo de planejamento, maior desgaste das máquinas e riscos de danos ao solo, além do risco de erosão, estresse físico e mental dos trabalhadores e riscos de acidentes podem ser maiores quando relacionados a terrenos com topografia mais plana (THEES *et al.*, 2011). Torna-se, portanto, necessário o conhecimento acerca

do local a ser executada a colheita e especificamente os detalhes sobre o terreno.

Para que seja possível classificar um terreno quanto ao seu relevo e a faixa de declividade a que pertence é necessário o agrupamento por intervalos, conforme metodologia adotada pela Embrapa (1999), na qual propõe uma classificação para análises da declividade (TABELA 1).

**TABELA 1 – LIMITES DE DECLIVIDADE PARA AVALIAÇÃO DE TERRAS**

Relevo	Classes de Declividade	
	Faixa de Declividade (%)	Declividade (graus)
Plano	0 a 3	0 a 1,7
Suave Ondulado	3 a 8	1,7 a 4,6
Ondulado	8 a 20	4,6 a 11,3
Forte Ondulado	20 a 45	11,3 a 24,2
Montanhoso	45 a 75	24,2 a 36,9
Escarpado	Acima de 75	Acima de 36,9

**Fonte:** EMBRAPA (1999)

Com a necessidade por redução de custos operacionais, bem como a redução de mão de obra em algumas localidades, muitas empresas vêm adotando o emprego de modernas tecnologias para possibilitar a otimização do sistema (YAMASHITA, 2002). Nesse contexto, a mecanização florestal nas operações de corte causa a diminuição da carga de trabalho manual (FENNER, 1991) e consequentemente minimiza a ocorrência de acidentes e eventuais danos físicos aos trabalhadores.

Estudos científicos de diversos autores como Sauter *et al.*, (1998), Korten e Matthies (2003a), Nagl (2003), Simões e Fenner (2010a), Thees *et al.*, (2011), Leite (2012) e Fernandes *et al.*, (2013) abordam a mecanização das operações de corte florestal com o uso do *harvester* em colheita de terrenos com declividade acentuada. Em um trabalho sobre o uso da combinação entre o *harvester* 911 X3M e *forwarder* com cabo de tração, o *Thuringian Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Nature Conservation* (2011) indica como recomendação para seu melhor desempenho que este sistema deva trabalhar em condições de floresta natural com árvores que possuam o diâmetro a altura do peito (DAP) médio em torno de 25 cm e

declividades variando de 19,2° a 26,5°.

Em estudo realizado por Birro *et al.*, (2002) com *skidder* de esteiras em relevo montanhoso, foi na menor faixa de distância de extração e de declividade que a produtividade da máquina obteve os melhores resultados.

No Brasil além do uso do *harvester* X3M e do *forwarder* 860.4 com guincho de tração auxiliar, desde 2012 estão sendo utilizados também em fase de testes, com sistema de colheita *cut-to-length*, *harvesters* de pneus e *forwarders*, ambos com guincho de tração, como apresentado na FIGURA 6.



FIGURA 6 – SISTEMA DE COLHEITA *CUT-TO-LENGTH* COM *HARVESTER* E *FORWARDER* COM GUINCHO DE TRAÇÃO AUXILIAR.

Atualmente empresas florestais brasileiras utilizam *harvesters* de pneu para as operações de corte em regiões com declive de até 25° levando em consideração as premissas de segurança operacional, podendo em alguns casos realizar a operação em declividades superiores (LEITE, 2012).

### 2.3. CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO DA COLHEITA FLORESTAL

A introdução de novos sistemas de colheita em áreas onde já ocorrem operações florestais de corte e extração de madeira exige a realização de uma avaliação de custos que aponte a viabilidade ou não sob a ótica econômica da aplicação deste novo sistema. Assim sendo a comparação de custos entre as

operações atuais e as serem introduzidas podem garantir com sucesso uma visualização clara e objetiva das vantagens do uso de um sistema e/ou método em detrimento de outro.

Leite (2012) aponta que a análise de um sistema de colheita florestal pode ser realizada por diversas metodologias de cálculo e que os custos variam de uma metodologia para outra e de empresa para empresa em função da situação em que atuam e do sistema em que atuam.

Simões e Fenner (2010b) estudando a operação de um *forwarder* em povoamento de *Eucalyptus grandis* de primeiro corte com seis anos de idade, concluíram que nas condições avaliadas o custo de extração da madeira foi inversamente proporcional ao rendimento operacional.

Comparando sistemas de colheita com *forwarder* e com o uso de cabos aéreos, Drews *et al.*, (2001) encontraram uma diferença no custo de produção de 7 US\$ ton<sup>-1</sup> para o *forwarder* contra US\$ 33 ton<sup>-1</sup> para o cabo aéreo.

Hartsough e Cooper (1999) observaram custos no corte raso aos sete anos em um plantio de *Eucalyptus viminalis*, onde os valores foram de 95 US\$ he<sup>-1</sup> para o *harvester* e US\$ 78 he<sup>-1</sup> para o *forwarder*.

Jiroušek *et al.*, (2007) estudaram um sistema de toras curtas quando comparando três classes de máquinas (pequena, média e grande) em operações de corte raso na Irlanda onde quando as árvores possuíam volumes individuais maiores que 0,5 m<sup>3</sup>, o custo não variava muito comparando *harvesters* de diferentes potências de motor variando de 80kW a 120 kW, no entanto quando o volume individual das árvores foi menor que 0,5 m<sup>3</sup> a diferença nos custos foi maior.

Leite (2010) estudando o planejamento da colheita florestal com *harvester* e *forwarder* em declividades entre 4° e 26°, concluiu que o custo da colheita florestal aumentou em cerca de 10 %, comparando os relevos de baixada (entre 0° e 4° de declividade) e os de encosta (entre 5° e 26° de declividade).

Os custos fixos são aqueles que não variam com a quantidade de horas da operação e independem da produção. Lopes (2007) define os custos fixos em aqueles que não variam com as horas de operação, bem como não são influenciados pelas atividades da máquina, nem nível de produção, ou seja, ocorrem mesmo que a máquina esteja trabalhando ou não.

Morais (2012) apresentou em seu trabalho os custos variáveis como sendo

aqueles que oneram a empresa proporcionalmente ao nível de produção, ou seja, dependem das atividades executadas em determinado período, enquanto que Lopes (2007) definiu que os custos variáveis são os que variam, proporcionalmente, com a quantidade produzida ou com o uso da máquina.

Para avaliar o grau de variação dos indicadores do cálculo financeiro diante das mais importantes variáveis componentes dos custos operacionais é realizada comumente uma análise de sensibilidade (OLIVEIRA, 2009). A análise de sensibilidade pode ser apresentada por intermédio do diagrama *Spiderplot* que permite a análise das seguintes situações: limite de cada variável independente, influência no resultado final a partir da mudança de valores da variável independente e a relação linear ou não entre a variável independente e a variável dependente (SILVA, 2004).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho tem a estrutura montada a partir de testes inéditos, realizados em empresas florestais nos estados de Minas Gerais e São Paulo, com um *harvester* modelo 911.3 X3M e um *forwarder* modelo 860.4 com guincho de tração auxiliar, ambos do fabricante Komatsu Forest. Pelo motivo de que cada teste teve um custo para as empresas e sob a premissa de que a execução de trabalhos de cunho científico não deva interferir nas condições normais de trabalho nas empresas, foram respeitadas as condições de coleta de dados sugeridas. Em muitos casos tais condições não garantiram a padronização de metodologias e baseando-se nas particularidades de cada empresa e nas diferenças entre os departamentos de desenvolvimento e pesquisa das mesmas, que optaram por diferentes metodologias de coleta de dados, é que foi definida a estruturação da tese em duas áreas distintas.

Para a realização da pesquisa foram utilizados dados referentes a duas áreas pertencentes a duas empresas do setor florestal com duas condições de relevo acidentado, onde foram desenvolvidos os testes com o *harvester* 911.3 X3M e *forwarder* 860.4 utilizando um sistema de colheita com as máquinas acima citadas que são apresentadas a seguir.



### 3.1. DESCRIÇÃO DAS MÁQUINAS

#### 3.1.1. *Harvester*

O *harvester* analisado (FIGURA 7) era composto por uma máquina de rodados de esteira adaptados em um *boogie* de pneus da marca Komatsu Forest, modelo 911.3 X3M, com motor diesel modelo 74 AWI e 228HP, com peso operacional de 25 ton e alcance máximo da lança de 10 m.

Esta máquina foi desenvolvida para realizar as operações de corte florestal em áreas de declividade consideradas muito acentuadas em regimes de desbaste seletivo em florestas da Alemanha e Áustria (KOMATSU, 2012).

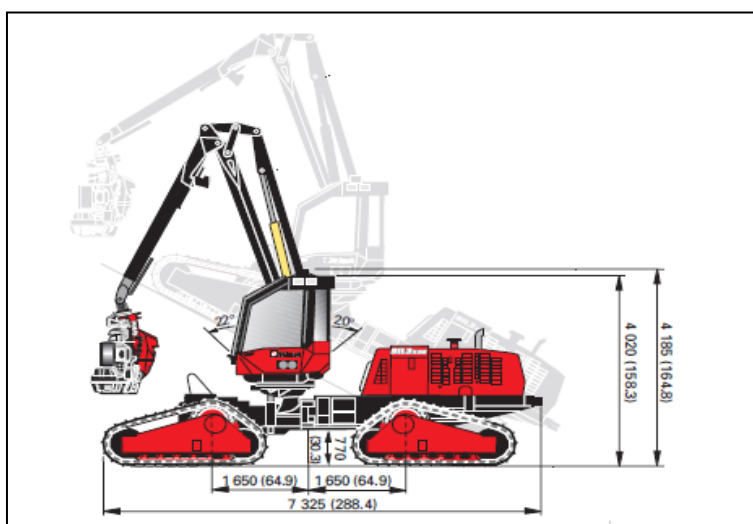


FIGURA 7 – PERFIL DO HARVESTER 911.3 X3M  
FONTE: KOMATSU FOREST S.N.

A tração da máquina engrenada na descida é de 40 ton, além de que existe a ampliação em 50 % da área de contato com o solo, com o uso das esteiras independentes que possuem uma área de contato de 1 m<sup>2</sup> cada (FIGURA 8).



FIGURA 8 – DETALHE DO SISTEMA DE TRAÇÃO DE ESTEIRAS DO *HARVESTER 911.3 X3M*

A máquina era equipada com um cabeçote do fabricante Komatsu modelo 360.2, com capacidade máxima de abertura de corte de 650 mm de diâmetro, abertura máxima dos rolos de 550 mm e peso de 1245 kg. O sistema de controle eletrônico da máquina e do cabeçote era o MaxXplorer. A máquina possuía 9190 horas de uso e foi importada da Komatsu Alemanha especialmente para a realização dos testes no Brasil.

Na operação a realizava a derrubada, desgalhamento, descascamento e traçamento em condições de aclave ou declive em terrenos com declividade de até cerca de 38° (FIGURA 9). De acordo com a observação de campo, em terrenos com topografia superior a 27° deve-se atentar para as características físicas do solo, pois em condições de alta umidade a retenção de terra nas sapatas da esteira compromete a tração do equipamento podendo levá-lo a deslizamento e/ou derrapagens.



FIGURA 9 – HARVESTER 911.3 X3M OPERANDO EM RELEVO ACIDENTADO EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO.

### 3.1.2. *Forwarder*

O *Forwarder* avaliado neste estudo era de fabricação da Komatsu Forest, modelo 860.4, com sistema de guincho de tração acoplado e peso total de 16 t e possuía 529 horas de uso quando iniciou a operar na área B. O sistema de rodados era o de pneus, implementados com semiesteiras, tração 8x8 e motor diesel 74 AWI, de 197 HP de potência. Segundo dados fornecidos pela empresa, a capacidade volumétrica de carregamento desta máquina era de 15 m<sup>3</sup>. As especificações técnicas da máquina recomendam que a capacidade de carga máxima seja de 14 t, e o alcance da garra é de 7,8 m. O *Forwarder* modelo 860.4 - 8x8 com guincho de tração, conforme mostrado na FIGURA 10 é uma máquina de pneus da Komatsu adaptada com guincho de tração do fabricante Ritter visando atender à demanda de baldeio em áreas de inclinação de 27° a 37°. O sistema de controle e informações da máquina é o *MaxiForwarder*. A máquina possuía caixa de carga com área variável de 3,30 m<sup>2</sup> a 4,50 m<sup>2</sup> e garra de 0,28 m<sup>2</sup>.

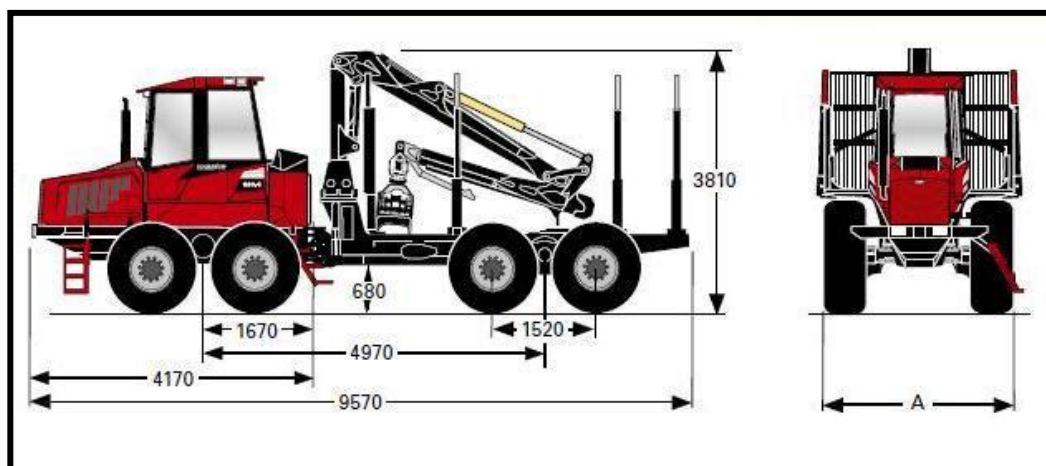


FIGURA 10 – MÁQUINA DE EXTRAÇÃO *FORWARDER* MODELO 860.4  
 FONTE: KOMATSU FOREST, S.N.

O guincho possuía força de tração de 72 kN e peso aproximado de 880 kg, com cabo de aço de 14 mm de diâmetro e 400 m de comprimento e pode ser operado até uma velocidade máxima de 3,5 km/h. O guincho de tração conforme mostrado na FIGURA 11a é de fabricação da empresa Ritter, sob o modelo SPW 246 e composto por um mecanismo sincronizado à transmissão da máquina, sendo utilizado em situações em que a mobilidade com tração da máquina base não é possível. O guincho é usado exclusivamente como apoio à tração da máquina em condições muito íngremes ou com pouca aderência ou baixa resistência do solo à tração. Durante a operação de descida ou subida com a utilização do guincho de tração auxiliar, o mesmo deve ser amarrado junto a árvores âncora (FIGURA 11b).

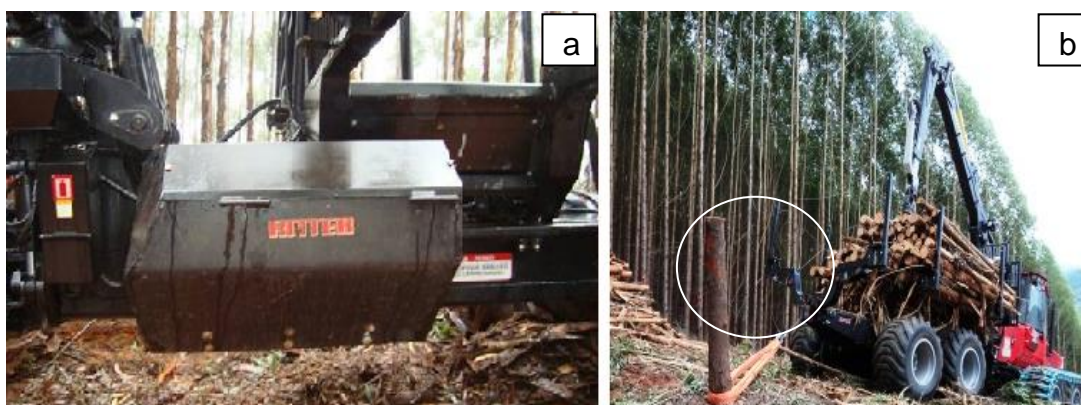


FIGURA 11 – DETALHE DO SISTEMA DE GUINCHO ACOPLADO E DESCIDA COM A ÁRVORE/TRONCO ÂNCORA  
 FONTE: DEPARTAMENTO DE COLHEITA E LOGÍSTICA – EMPRESA DA ÁREA A (2011)

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE COLHEITA

O sistema de colheita utilizado em ambas as áreas foi o *cut-to-length* (toras curtas), onde o corte e processamento das árvores eram realizados pelo *harvester*, perpendicularmente às curvas de nível e com eito de derrubada composto por quatro linhas de árvores, e a extração era feita pelo *forwarder* com guincho de tração auxiliar.

#### 3.2.1. Descrição operacional do corte florestal

Em ambas as áreas a colheita ocorria a partir da entrada do *harvester* no talhão onde o mesmo realizava a derrubada de quatro linhas de árvores. O deslocamento do *harvester* na entrada do talhão geralmente ocorria morro abaixo e consequentemente o retorno ocorria de ré. No entanto em casos em que o terreno e a malha viária davam condições, o operador do *harvester* realizava a volta no final do corte de um eito e realizava o retorno morro acima cortando a faixa de árvores seguinte. As árvores eram derrubadas para dentro do talhão onde se iniciava o corte com a 2ª linha e em seguida em sequência com a 1ª, 3ª e 4ª linhas (FIGURA 12). Esta opção operacional era geralmente aplicada em razão de que ao derrubar a árvore para dentro do talhão, as ações seguintes são facilitadas como o desgalhamento, traçamento, descascamento e empilhamento. O deslocamento da máquina se dava sempre sobre a 2ª linha e as galhadas e restos de desgalhamento e descascamento eram depositados sobre a entre a 1ª e 2ª linha e 2ª e 3ª linha. Por meio deste desenho a colheita tende a iniciar-se da esquerda para a direita a partir do ponto de maior cota no terreno (geralmente na beira da estrada).



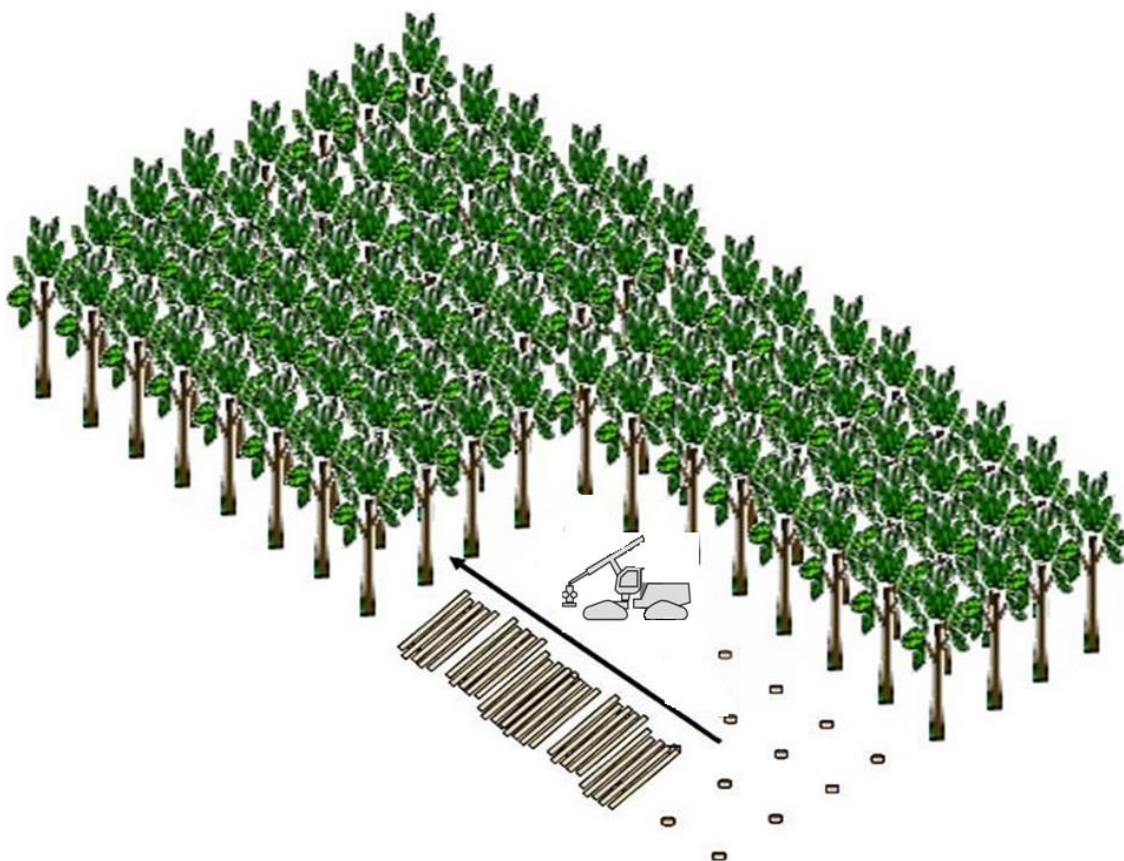


FIGURA 12 – ESQUEMA DA OPERAÇÃO DE CORTE COM EITO COMPOSTO POR QUATRO LINHAS ÁRVORES

### 3.2.2 Descrição operacional da extração

Nas duas áreas a extração ocorria no mesmo sentido que a entrada do *harvester*, ou seja, morro abaixo, com a cabine do *forwarder* direcionada ao ponto de menor cota e a caixa de carga no ponto mais superior. O *forwarder* primeiramente deslocava-se vazio até o ponto de menor cota do terreno, onde iniciava o carregamento e o deslocamento, o retorno ocorria carregado voltando morro acima de ré. Para terrenos declivosos o deslocamento com o auxílio do guincho de tração era fundamental tanto na descida quanto na subida.

Em locais com declividades em que o operador julgava que não seria necessária a acoplagem do guincho em uma árvore âncora, o mesmo realizava a extração sem o uso do guincho. Com uso ou sem o uso do guincho o *forwarder* sempre possuía a seguinte regra: descia vazio até o ponto de carregamento e subia carregando (FIGURA 13).



FIGURA 13 – FORWARDER MODELO 860.4 REALIZANDO A OPERAÇÃO DE CARREGAMENTO

### 3.3. DETERMINAÇÃO E COLETA DE DADOS NA ÁREA A

#### 3.3.1. Caracterização da área

A área A refere-se aos dados obtidos em talhões localizados nos municípios de Ferros e Antônio Dias, no estado de Minas Gerais, Brasil. As áreas situam-se a 19°23'43"S de latitude sul e 42°48'18"W de longitude oeste. A temperatura média anual da região é de 19,9° C, com precipitação média de 1292,6 mm. O tipo de clima característico da região é Cwa (Köppen), e a altitude média é de 640 metros acima do nível do mar. A área de estudo é forte ondulada a escarpada com declividades variando de 7° a 38°. O povoamento de *Eucalyptus* spp. tinha 85 meses de idade, volume médio por árvore de 0,188 m<sup>3</sup>, espaçamento de 3,00 m x 3,33 m. A FIGURA 14 mostra a característica da área onde foram realizados os testes.

O tipo de solo predominante na região, segundo a Embrapa (1999), é o argilo-arenoso de cor bruno-avermelhado, com topografia caracterizada como montanhosa.



FIGURA 14 – PANORAMA DA ÁREA A APÓS A COLHEITA E REPLANTIO.  
FONTE: KLAUS EGLE (2012)

### 3.3.2. Coleta dos dados

As coletas na área A foram realizadas no período de novembro de 2011 e janeiro de 2012, durante o turno de trabalho compreendido entre 07:00 e 17:00 horas.

Os dados de tempos e movimentos foram obtidos através do método de multimomento com intervalo de 15 segundos por observação, sendo este intervalo determinado por interesse da empresa. Conforme citado por Batista (2008), esse método trabalha com o cronômetro girando continuamente, com a determinação dos tempos das ações segundo a frequência com que ocorrem em um intervalo fixo.

### 3.3.3 Estudo de tempos e movimentos no corte florestal na área A

Para definição da atividade do ciclo operacional do *harvester* que estava sendo realizada durante a medição foi considerado o momento exato na observação de cada ciclo. No estudo foram considerados os elementos parciais que



compuseram o ciclo operacional de corte e processamento. Os elementos foram computados na forma de observações visuais a cada 15 segundos, onde foi registrada nos formulários específicos a operação parcial em exercício no momento da observação. O ciclo operacional foi subdividido nas seguintes operações:

(1) Deslocamento da Máquina: tempo consumido na movimentação da máquina em direção à próxima árvore a ser derrubada, se encerrando com o começo da movimentação do cabeçote.

(2) Movimentação do cabeçote: movimentação somente do cabeçote em direção à próxima árvore, até o agarre na árvore.

(3) Derrubada: tempo gasto após o fechamento das garras do cabeçote na árvore até o momento da derrubada completa da mesma.

(4) Processamento: consistiu nas ações de desgalhar a árvore; descascar, quando o sortimento exigia, e seccionar a árvore em toretes, bem como a ação de simples passada do rolo pelo cabeçote.

(5) Descarte e apoio para pilha: consistiu no uso do cabeçote para retirada de resíduos do corte e para realizar o “travesseiro” ou suporte para pilha.

(6) Recuperação: consistiu em casos em que o operador derrubava várias árvores e depois as processava simultaneamente, ou quando por alguma razão soltava a árvore após a derrubada.

(7) Interrupções: fatores operacionais ou não operacionais diversos como parada para alimentação, hidratação, manutenção corretiva ou preventiva, abastecimento da máquina, chuva, necessidades pessoais, dentre outros.

As médias dos elementos do ciclo operacional nos distintos comprimentos de tora e sentido de operação foram avaliadas estatisticamente através do teste de “t” para médias de amostras independentes de diferente número de observações, para 95 % de probabilidade de confiança.

#### **3.3.4. Delineamento Estatístico**

A fim de obter um número mínimo de observações com um nível de confiança desejado, foi determinado o número de amostras necessárias para um erro de amostragem admissível de 5 %, a 95 % de probabilidade de confiança. A intensidade amostral dos ciclos operacionais para o *harvester*, foi calculada através

da Equação 1:

$$n \geq \frac{t^2 CV^2}{E^2} \quad (1)$$

Onde:

n=número de unidades amostrais necessárias;

t= valor de “t” de Student, para o nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade;

CV= Coeficiente de Variação (%); e

E= erro admissível (%).

Para a realização das análises estatísticas foi utilizada uma planilha eletrônica. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com três tratamentos (classes de declividade) de diferentes números de parcelas e três blocos (comprimentos de tora: 3,30 m com casca, 6,00 m com casca e 6,30 m sem casca) para cada classe de declividade, totalizando 87 parcelas amostradas (TABELA 2).

TABELA 2 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL COM CLASSES DE DECLIVIDADE E SORTIMENTOS NA ÁREA A.

Blocos (Sortimentos)	Tratamentos (Classes de Declividade)		
	1 0° a 20°	2 20,1° a 27°	3 Acima de 27,1°
3,30 m com casca	18 parcelas*	6 parcelas**	5 parcelas***
6,00 m com casca	18 parcelas*	6 parcelas**	5 parcelas***
6,30 m sem casca	18 parcelas*	6 parcelas**	5 parcelas***

\*Número médio de árvores por parcela= 60; total de árvores observadas= 1080

\*\*Número médio de árvores por parcela= 60; total de árvores observadas= 360

\*\*\* Número médio de árvores por parcela= 60; total de árvores observadas= 300

Na avaliação da influência da declividade na produtividade do *harvester* 911.3 X3M a área experimental foi subdividida em parcelas, com 60 árvores em média por parcela (sendo 4 linhas e 15 árvores por linha) totalizando uma área de 585 m<sup>2</sup> por parcela e contemplando três classes de declividade: de 0° a 20°, de 20,1° a 27° e acima de 27°. Na medição dos valores de declividades foi utilizado um clinômetro eletrônico *Haglöff*, no modelo metros/graus.

O teste de Bartlett foi usado para verificar a homogeneidade das variâncias e foi feita a análise de variância a 95 % de probabilidade de confiança, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. Realizou-se também a análise de regressão com duas variáveis (declividade e produtividade) a fim de estabelecer a relação entre a produtividade e a declividade.

### **Sentido da operação**

Avaliou-se a produtividade do *harvester* enquanto o mesmo realizava as operações de corte movimentando-se em sentido ascendente e descendente no talhão. Para avaliar o sentido de operação foram analisados dados usando os três sortimentos em declividades aleatórias. O número de amostras coletadas em cada sortimento foi idêntico ao da intensidade amostral recomendada para um erro de amostragem admissível de 5 % e um limite de erro de 10 %, que foi calculada em 29 amostras.

Para análise estatística dos dados utilizou-se o teste de significância com a distribuição do tipo “t”, para médias de amostras independentes e com o mesmo número de observações, a 95 % de probabilidade de confiança.

## **3.4. DETERMINAÇÃO E COLETA DE DADOS NA ÁREA B**

### **3.4.1. Caracterização da área**

Os dados obtidos na área B foram realizados em áreas de colheita florestal de corte raso em uma fazenda sob fomento florestal de uma empresa florestal localizada na região do Vale do Paraíba, Estado de São Paulo, nos municípios de Cunha e Taubaté. O clima da região é Cwa, seguindo a classificação climática de

Köppen, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e período seco no inverno e a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. De acordo com os dados do departamento de pesquisa da empresa da área B aponta que a precipitação média anual é de 1350 mm. Os solos da área de estudo são classificados de acordo com Santos *et al.*, (2011) como Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, A moderado com textura argilosa.

A pesquisa foi realizada em povoamento de *Eucalyptus* spp. com sete anos e meio de idade, volume médio por árvore de 0,14 m<sup>3</sup> e espaçamento de 3 x 2 m. As coordenadas da fazenda são 22° 59' 21,66" S e 45° 06' 32,06" W.

A FIGURA 15 mostra um panorama da área da segunda área onde foi testado o sistema de colheita com o *harvester* X3M 911.3 e *forwarder* GTA 860.4.



FIGURA 15 – PANORAMA DA ÁREA B.

A área da floresta possui um relevo que varia de forte ondulado a escarpado e a altitude média da fazenda é de 833 metros acima do nível do mar.

### 3.4.2. Coleta dos dados

Para a coleta dos tempos e movimentos das máquinas avaliadas e seu ciclo operacional, foi realizado um estudo de tempos e movimentos, que é definido por Barnes (1977) como o estudo sistemático dos sistemas de trabalho e tem como objetivos desenvolver o sistema e o método preferido ou de menor custo, e a padronização do mesmo. A coleta dos dados nesta área foi realizada no período de

Janeiro a Março de 2012, em turno de trabalho entre 08 e 16 horas. Para ambas as máquinas nesta etapa foram utilizados como material de coleta uma prancheta, um cronômetro sexagesimal e formulários específicos.

Na coleta dos dados de declividade, foi utilizado o hipsômetro trigonométrico VERTEX III, que possibilita a medição de alturas, e declividade em graus ou em porcentagem. Para tornar mais prática e eficiente a aferição das declividades, dividiu-se o relevo de cada área amostrada em três pendentes principais. Estas pendentes eram basicamente, greides de declividade homogêneos, as principais vertentes, executando apenas uma medição de declividade para cada uma delas.

Todo o processo foi feito durante o estudo de tempo e movimentos e anotados nos formulários específicos, de modo que se conhecesse em que árvore ou em que momento alterou-se a pendente, e conseqüentemente o grau de declividade daquele local. Esta metodologia foi utilizada para os estudos do *harvester* e do *forwarder*. A escala utilizada para a declividade foi a de angulação em graus.

### **3.4.3. Estudo de tempos e movimentos no corte florestal na área B**

Os dados de tempos e movimentos do *harvester* foram coletados através do método de multimomento, que é o mais indicado para ciclos operacionais com grande número de movimentos em pequeno espaço de tempo (STÖHR e LEINERT, 1978). O intervalo da coleta dos movimentos foi de 15 segundos, onde cada árvore representou um ciclo operacional.

Diferentemente da área A, as amostras para a tomada de tempo possuíam números de árvores variáveis e eram constituídas por pendentes em que se encontrava o *harvester* durante a operação sendo que o número de árvores cortadas e processadas variou de 4 a 68 por amostra.

O ciclo operacional do *harvester* foi composto pelos mesmos movimentos parciais avaliados na área A, sendo: Deslocamento da máquina, movimentação do cabeçote, derrubada, processamento, descarte e apoio para pilha, recuperação e interrupções.

As operações parciais do *harvester* que compunham o ciclo operacional foram identificadas e anotadas em uma planilha e posteriormente os dados percentuais

para cada operação parcial foi calculado. Para analisar a proporcionalidade de cada operação parcial foi avaliada nas duas diferentes classes de declividade (classe 1= 0°-25° e classe 2= acima de 25,1°).

#### **3.4.4. Estudos de tempos e movimentos na extração na área B**

Para a realização do estudo de tempos e movimentos para o *forwarder*, foi utilizado o método de tempo contínuo, no qual a medição é contínua não existindo a detenção do cronômetro (FENNER, 2002 apud SIMÕES *et al.*, 2010a). Foi utilizado este método, devido a maior duração dos movimentos da máquina e suas características operacionais. Os movimentos parciais que compunham o ciclo operacional para o *forwarder* foram:

(1) Deslocamento vazio: movimentação da máquina com caixa de carga vazia.

(2) Carregamento: consistia na movimentação da grua para retirada da madeira da pilha e a ação de carregar a caixa de carga e finalizando com o retorno à movimentação da máquina .

(3) Deslocamento entre feixes: movimentação entre os feixes de pilhas para carregamento até o posicionamento para novo carregamento, finalizando com o início da movimentação da grua.

(4) Deslocamento cheio: movimentação da máquina com a carga cheia, em direção a beira do estaleiro.

(5) Confeção do travesseiro de pilha: confecção de suporte para as pilhas com o uso dos resíduos

(6) Descarregamento: após o posicionamento e parada total da máquina no estaleiro, o início da movimentação da grua retirando as toras da caixa de carga até o esvaziamento completo da caixa de carga.

(7) Instalação de cabo: tempo de parada, solda, instalação do guincho no toco âncora terminando com o retorno no deslocamento da máquina (quando utilizado o guincho).

(8) Retirada do cabo: ação de parada, retirada, recolhimento e retorno ao movimento da máquina (quando o cabo era utilizado).

(9) Deslocamento entre eitos: consistiu na movimentação da máquina em

direção ao próximo eito de extração, após o carregamento pré-realizado, finalizando com o posicionamento da máquina para carregamento no próximo eito.

(10) Interrupções: fatores operacionais ou não operacionais diversos como parada para alimentação, hidratação, manutenção corretiva, manutenção preventiva, abastecimento da máquina, chuva, necessidades pessoais, entre outros.

Cada viagem caracterizava-se como um ciclo, estimando a produção para cada ciclo com base no volume máximo carregado pelo *forwarder*. Estes dados eram aferidos juntamente com a ficha de produção preenchida pelo operador do *forwarder* diariamente.

A avaliação da madeira baldeada por dia, feita pelos supervisores da colheita, foi realizada com base em medições da madeira empilhada nos estaleiros junto às margens das estradas onde o *forwarder* trabalhava.

### **3.4.5. Delineamento estatístico**

A intensidade amostral dos ciclos operacionais para o *harvester* e *forwarder* na área foi calculada através da mesma Equação 1 utilizada na área A, onde manteve-se a condição de erro de amostragem admissível de 5 %, a 95 % de probabilidade.

#### ***Harvester***

A principal variável analisada no teste com o *harvester* foi a relação entre a produtividade e declividade. Para isto foram definidas duas classes de declividade divididas basicamente em: classe de declividade 1 (declividades entre 0° a 25°) e classe de declividade 2 (declividades acima de 25,1°). Diferentemente do *forwarder*, o *harvester* não possuía sistema de tração auxiliar por guincho e realizava o corte das árvores geralmente no sentido descendente e retornando de ré. O operador foi o mesmo durante todo o período de testes.

Após a determinação da intensidade amostral, os dados foram analisados no programa estatístico SPSS versão 12.0, onde foram gerados gráficos do tipo *boxplot*, para comparar os diferentes tratamentos adotados para o *harvester* em relação às classes de declividade.

## **Forwarder**

Foram contemplados diversos fatores de influência na extração com o *forwarder* durante a realização do estudo. Os fatores que compuseram os tratamentos foram: declividade, distância média de extração e uso ou não do guincho de tração. Foi utilizado o mesmo operador e a distância média de extração (DME) foi aquela percorrida pelo *forwarder* desde a margem da estrada até o ponto no interior do talhão, onde a caixa de carga começava a ser preenchida, tendo sido estratificada em três níveis:  $DME \leq 100$  m;  $100 < DME \leq 200$  m e  $DME > 200$  m. A distância média de extração (DME) foi estimada pelo operador, que possuía ampla experiência em trabalho com máquinas na área florestal e 12 anos na operação de *forwarder*. Por razões de segurança do trabalho determinadas pela empresa não foi possível realizar a medição da distância de extração por outros métodos. Por esta razão utilizou-se as faixas de distância compreendendo intervalos de 100 metros.

O *forwarder* foi analisado a partir de 5 tratamentos relacionados às variáveis: classe de declividade, distância média de extração e uso ou não do guincho como apresentado na TABELA 3.

TABELA 3 – TRATAMENTOS USADOS NO ESTUDO COM O *FORWARDER* E AS VARIÁVEIS QUANTO A DECLIVIDADE, DISTÂNCIA MÉDIA DE EXTRAÇÃO E USO DO GUINCHO.

Tratamento	Nº de parcelas amostradas	Declividade	DME *(m)	Operação / uso do guincho
1	4	0° a 25°	0 - 100	Sem Guincho
2	4	0° a 25°	100,1 - 200	Sem Guincho
3	5	0° a 25°	0 - 100	Com Guincho
4	7	Acima de 25,1°	100,1 - 200	Com Guincho
5	6	Acima de 25,1°	Acima de 200,1	Com Guincho

\* DME = Distância Média de Extração

O estudo foi conduzido de forma a avaliar a influência individual e conjunta da distância de extração, no caso do *forwarder*, e declividade sobre a produtividade e desempenho de cada uma das máquinas analisadas neste trabalho. Para isso, todas as outras variáveis foram consideradas homogêneas, como turno de trabalho, tipo de solo, floresta, clima, local e operador. Entretanto uma particularidade relacionada



ao *forwarder* teve que ser comparada com relação ao desempenho técnico e o tempo de trabalho do mesmo que era a utilização e não utilização do guincho de tração auxiliar. Quando o *forwarder* necessitava realizar extrações em locais que exigiam a ancoragem do cabo junto a uma árvore âncora na beira do talhão foram tomados os dados referentes a estas viagens e os mesmos comparados em situações em que o mesmo *forwarder* não necessitou o uso do guincho.

Após a determinação da intensidade amostral, os dados foram analisados no programa estatístico SPSS versão 12.0, onde foram gerados gráficos do tipo *boxplot*, para comparar os diferentes tratamentos adotados para o *forwarder* em relação às variáveis dependentes. O teste de Bartlett foi usado para verificar a homogeneidade das variâncias e as médias de produtividade foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.

### **Matriz de Correlação**

Visando avaliar a influência da declividade sob as operações parciais realizadas pelo *harvester* e pelo *forwarder*, efetuou-se ainda o cálculo da matriz de correlação linear. Esta matriz de correlação reporta a magnitude das associações entre as variáveis, podendo os valores estar compreendidos de -1 até 1. Como a matriz de correlação é adimensional, ela anula o efeito de escalas diferentes, o que facilita a interpretação do resultado.

As correlações entre as variáveis foram obtidas mediante a seguinte equação 2:

$$r = \frac{C(X, Y)}{S_Y * S_X} \quad (2)$$

onde:

r= coeficiente de correlação linear de Pearson;

C= covariância; e

S = variância.

### 3.5. DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO E OPERACIONAL

#### 3.5.1. Determinação da produtividade na Área A

##### **Harvester**

A variável dependente produtividade foi mensurada pelo volume em metros cúbicos de madeira processada com 3,30 m e 6,00 m com casca e 6,30 m sem casca por hora de trabalho efetivo ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ ). Os valores médios referentes ao número de árvores derrubadas e processadas e o volume médio individual por parcela foram mensurados através do sistema de informação e controle da máquina (MaxXplorer). Para a determinação da produtividade foi levada em consideração a situação real de trabalho da máquina, onde a produtividade não foi segmentada por classes de declividade e sim foi representada pela média obtida no período de testes em cada área. Para a determinação da produtividade foi utilizada a Equação 3 a seguir:

$$Pr = \frac{(n * vmi)}{ta} \quad (3)$$

onde:

$Pr$  = Produtividade do *harvester* em  $\text{m}^3$  por hora efetiva (he);

$n$  = número de árvores cortadas e processadas por parcela;

$vmi$  = volume médio individual de cada parcela, em  $\text{m}^3$ ; e

$ta$  = tempo para cortar e processar árvores da parcela (horas efetivas).

##### **Forwarder**

Para o *forwarder*, a produtividade representou o volume de madeira em metros cúbicos extraída do talhão até o estaleiro ou beira da estrada por hora de trabalho efetivo ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ ). O teste ocorreu sempre utilizando situação extrema, ou seja, utilizando o máximo possível de carga a ser transportada. Também foi considerada para a obtenção da produção do *forwarder* a situação real de trabalho não levando em consideração tratamentos com diferentes distâncias de extração e uso ou não do guincho de tração auxiliar, sendo o uso ou não do guincho e as

distâncias de extração aleatórias. Deste modo foi realizado o cálculo de volume baldeado por viagem sendo utilizada a equação 4 a seguir:

$$Pr = \frac{vmc}{te} \quad (4)$$

onde:

$Pr$ = Produção do *forwarder* em m<sup>3</sup> por hora efetiva;

$vmc$ = volume máximo de carga em m<sup>3</sup>; e

$te$ = tempo de trabalho efetivo (horas).

### 3.5.2. Determinação da produtividade na Área B

#### **Harvester**

A variável dependente produtividade foi mensurada pelo volume em metros cúbicos de madeira processada sem casca com 6,00 m de comprimento por hora de trabalho efetivo (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>). O volume médio individual utilizado para o cálculo da produtividade foi de 0,14 m<sup>3</sup>/árvore, de acordo com dados de inventário cedidos pela empresa para a área avaliada. A equação 5 foi utilizada para calcular a produtividade do *harvester*.

$$Pr = \frac{(n * vmi)}{ta} \quad (5)$$

onde:

$Pr$ = Produção do *harvester* em m<sup>3</sup> por hora efetiva (he);

$n$  = número de árvores cortadas e processadas por parcela;

$vmi$  = volume médio individual (0,14 m<sup>3</sup>); e

$ta$  = tempo para cortar e processar árvores da parcela (he).

Em adjacência a produtividade, foi calculado o número de árvores derrubadas/processadas durante o teste. Estes dados foram facilmente obtidos através das fichas de campo, gerando a produtividade em árvores por hora. Para análise estatística dos dados utilizou-se o teste de significância com a distribuição do tipo “t”, para médias de amostras independentes e com o mesmo número de

observações, a 95 % de probabilidade de confiança.

### **Forwarder**

Para o *forwarder*, a produtividade representou o volume de madeira em metros cúbicos extraído do talhão até o estaleiro ou beira da estrada por hora de trabalho efetivo ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ ). Os dados dos supervisores de colheita deveriam ser idênticos aos apresentados pelo operador de *forwarder* para que fosse utilizado o valor de carga máximo que variou de  $12 \text{ m}^3$  a  $15 \text{ m}^3$ . Valores referentes a  $12 \text{ m}^3$  foram utilizados em declividades acima de  $32^\circ$ , representando 80 % da carga máxima baldeada pelo *forwarder* que correspondeu a  $15 \text{ m}^3$ . Estes valores foram definidos através de estimativas realizadas pela empresa com base nos dados de volume médio individual proveniente do inventário florestal e cubagem de pilhas. O teste ocorreu sempre utilizando situação extrema, ou seja, utilizando o máximo possível de carga a ser transportada. A equação 6 foi utilizada para calcular a produtividade:

$$Pr = \frac{vmc}{te} \quad (6)$$

onde:

$Pr$  = Produção do *forwarder* em  $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ ;

$Vmc$  = volume máximo de carga em  $\text{m}^3$ , sendo  $15 \text{ m}^3$  para declividades até  $32^\circ$  e  $12 \text{ m}^3$  a partir de  $32^\circ$ ; e

$Te$  = tempo de trabalho efetivo (he).

## **3.6. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO**

### **3.6.1. Eficiência Operacional e Disponibilidade Mecânica**

Para cada área foram estabelecidas dois cenários sendo que tais cenários estão relacionadas à eficiência total ou taxa de utilização da máquina que consiste na equação 7.

$$TU = EO \times DM \quad (7)$$

Sendo:

TU= Taxa de Utilização (%);

EO= Eficiência Operacional (%); e

DM= Disponibilidade Mecânica (%).

O cenário 1 representa valores de Eficiência Operacional de 75 % e de Disponibilidade Mecânica de 80 % usuais para ambas empresas e áreas, bem como para cada máquina. O cenário 2 foi considerado como uma situação otimista de trabalho onde a eficiência operacional foi estabelecida com 83 % e a disponibilidade mecânica em 90 %. A TABELA 4 mostra as eficiências operacionais adotadas em cada área, bem como o sistema de turnos, horas de trabalho programadas por dia e número de dias trabalhados no mês e ano.

TABELA 4 – CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS E CENÁRIOS

Área	Cenário	Taxa de Utilização	Turno/horas	Número de operadores	Horas de trabalho programadas por dia	Dias de trabalho programados por mês	Dias de trabalho programados por ano
A	1	60 %	3/8	4,4	24	30	360
	2	75 %	3/8	4,4	24	30	360
B	1	60 %	3/8	4,4	24	30	360
	2	75 %	3/8	4,4	24	30	360

Também foram calculadas a eficiência operacional e disponibilidade mecânica obtida no período de testes para cada área. O parâmetro eficiência operacional é a percentagem do tempo efetivamente trabalhado, em relação ao tempo programado para o trabalho, sendo determinada pela equação 8.

$$EO = \frac{(tt - int)}{tt} \times 100 \quad (8)$$

onde:

$E.O.$  = eficiência operacional (%);

$tt$  = tempo total de trabalho efetivo (horas); e

$int$  = interrupções (horas).

A disponibilidade mecânica foi calculada para o período de testes em cada área a partir da relação entre o tempo total de trabalho destinado para teste, quando as máquinas encontravam-se aptas para o desempenho de suas funções e o período em que interrompia o trabalho para manutenção. O cálculo foi obtido pela seguinte equação 9.

$$DM = \frac{HT - HM}{HT} \times 100 \quad (9)$$

onde:

DM = Disponibilidade Mecânica (%);

HT = Horas totais de trabalho; e

HM = Horas em manutenção.

### 3.6.2. Determinação dos custos operacionais

Em ambas as áreas foram adotadas as seguintes diretrizes para o regime de trabalho a ser usado nos cálculos referentes aos custos operacionais: foram considerados três turnos de trabalho de 8 horas com um total de 24 horas programadas de trabalho por dia, considerando que são trabalhados 30 dias por mês, o que totaliza 360 dias de trabalho ao ano.

Para os custos operacionais e de produção foram calculados os mesmos na situação real de coleta de dados, ou seja, 9190 horas no início dos testes para o *harvester* e com 44 horas para o *forwarder*, caracterizando-se como uma máquina nova. Também foram calculados os custos operacionais e de produção com o *harvester* em situação de máquina nova e o *forwarder* com 9190 horas de uso a fim de padronizar o estado de vida útil para cada máquina.

Os custos operacionais das operações de corte e extração de madeira no sistema mecanizado com o *harvester* 911.3 X3M e *forwarder* 860.4 foram calculados em dólares por hora de trabalho (US\$  $he^{-1}$ ), utilizando-se a taxa de câmbio de 1US\$ = R\$ 1,9843 de 01/02/2013.

O custo operacional de cada máquina foi obtido através do somatório dos cálculos fixos e variáveis. Para o cálculo do custo fixo, foram considerados os valores de revenda de 20 % do valor inicial do *harvester* sendo para o cabeçote o valor de revenda de 10 % e 20 % do valor inicial do *forwarder*. A vida útil foi definida em 25.000 horas para o *harvester*, 12.500 para o cabeçote e 25.000 horas para o *forwarder*. Os valores de aquisição do *harvester* e do *forwarder* foram fornecidos pela empresa que os fabrica, já os valores da mão de obra foram calculados a partir de um salário base de R\$ 2.000,00 que representa a média salarial básica coletada nas duas áreas.

### Custos fixos (CF)

Neste trabalho os custos fixos foram compostos pelos juros, custos de depreciação, abrigo, taxas e seguros. O custo de aquisição das máquinas é fundamental para calcular os custos fixos supracitados.

Em razão de existirem diferentes custos importantes na composição do custo de aquisição torna-se necessária a apresentação dos valores utilizados na determinação dos custos operacionais e de produção na TABELA 5.

TABELA 5 – VALORES ADOTADOS PARA AQUISIÇÃO DE MÁQUINAS NOVAS ENTREGUES NA FLORESTA PELO FABRICANTE.

Maquinário	Valor de aquisição (US\$)	Frete, taxas de importação e seguros (US\$)	Transporte Fábrica – Porto na Alemanha (US\$)	Transporte nacional do Porto – Área Florestal (US\$)	Custo de Aquisição (US\$)
<i>Harvester</i>					
911.3 X3M+	516.6408	72.864	3.968	10.120	700.000
cabeçote	96.400				
<i>Forwarder</i>					
860.4 + 2 pares de esteiras flexíveis	526.254	89.722	4.960	9.064	630.000

**Fonte:** Contatos telefônicos e pessoais na Komatsu Forest Brasil e Komatsu Forest Alemanha (2013)

## a) Juros

Para o cálculo dos juros, seguros e impostos considerou-se a aplicação de uma taxa anual de 12 % a.a., correspondente ao capital proporcionado por agência financeira (Equação 10) aplicando ao investimento médio anual (CANTO, 2009) a taxa de juros acima:

$$JS = \frac{IMA i}{(He)} \quad (10)$$

onde:

JS= custo de juros, seguros e impostos (US\$ he<sup>-1</sup>);

IMA= investimento médio anual (US\$);

i= taxa anual de juros mais seguros anuais simples (%); e

He= horas efetivas de uso anual.

## b) Investimento médio anual

O Investimento médio anual também foi calculado para o *harvester* e/ou *forwarder*. Para a sua determinação foi usada a seguinte equação 11:

$$IMA = \frac{(Ca - Vr) (N + 1)}{(2 N)} + Vr \quad (11)$$

onde:

ima= investimento médio anual (US\$);

Ca=custo de aquisição do *harvester/forwarder* (US\$);

Vr= Valor Residual do *harvester/forwarder* (US\$);

N= vida útil estimada do *harvester/forwarder* (anos).

Foram considerados para efeito deste cálculo:

Vr= 20 % do Ca para o *harvester* e 10 % para o cabeçote; 20 % do Ca para o *forwarder*.



### c) Depreciação

Para o cálculo da depreciação que reflete a perda de valor do trator florestal no decorrer da sua vida útil, foi aplicada a equação 12 proposta por Freitas *et al.*, (2007):

$$D = \left( \frac{Ca - Vr}{N He} \right) \quad (12)$$

onde:

D= Depreciação anual (US\$ he<sup>-1</sup>);

Ca= valor de aquisição do *harvester/forwarder* (US\$);

Vr= valor residual do *harvester/forwarder* (US\$);

N= vida útil do *harvester/forwarder* em anos; e

He= horas efetivas de uso anual.

Foram considerados para efeito deste cálculo:

Vr= 20 % do Ca para o *harvester* e 10 % para o cabeçote; 20 % do Ca para o *forwarder*.

Vu= 25.000 horas (*harvester* e *forwarder*); 12.500 horas (cabeçote).

Para calcular os custos de abrigo, taxas de administração e seguros foi utilizada a metodologia aplicada por Simões *et al.*, (2010a) proposta pela *American Society of Agricultural Engineers* (*American Society Agricultural Engineers* - ASAE, 2001).

### d) Taxas de administração

Os encargos administrativos foram contabilizados nos custos fixos de acordo com ASAE (2001). Neste caso a Equação 13 abaixo representa o valor referente a taxas.

$$T = \frac{Ca \cdot FA}{he} \quad (13)$$

onde:

T= taxas de administração (US\$ he<sup>-1</sup>);

Ca= Custo de aquisição do *harvester/forwarder* (US\$);

FA= fator de ajuste 1,0 % do valor inicial do *harvester/forwarder* de acordo com Simões *et al.*, (2010a); e

he= horas efetivas de uso anual.

#### e) Seguros

O seguro de proteção contra risco de roubo, incêndios, entre outros; foi calculado através da equação 14:

$$S = \frac{Ca \cdot FA}{he} \quad (14)$$

onde:

S= seguros (US\$ he<sup>-1</sup>);

Ca= custo de aquisição do *harvester/forwarder* (US\$);

FA= fator de ajuste 0,25 % do valor inicial do *harvester/forwarder* de acordo com Simões *et al.*, (2010a); e

he= horas efetivas de uso anual.

#### f) Abrigo

O custo de abrigo também foi calculado em função do local onde o *harvester* e/ou *forwarder* deveriam ser abrigados. Para este custo foi utilizada a equação 15.

$$Cab = \frac{Ca \cdot FA}{he} \quad (15)$$

onde:

Cab= custo de abrigo do *harvester/forwarder* (US\$ he<sup>-1</sup>);

Ca= custo de aquisição do *harvester/forwarder* (US\$);

FA= fator de ajuste 0,75 % do valor inicial do *harvester/forwarder* de acordo com Simões *et al.*, (2010a); e

he= horas efetivas de uso anual.

## Custos variáveis (CV)

Foram estabelecidos como custos variáveis das operações por máquina: combustível; lubrificantes; óleo hidráulico; pneus/esteiras; manutenção e reparos; mão de obra; transporte de pessoal e transporte de maquinário.

### a) Combustível

Os custos acerca do gasto de combustível foram determinados pela seguinte equação16:

$$Comb = Cmm \ Pu \quad (16)$$

onde:

Comb= custo com combustível por hora efetiva de trabalho (US\$  $he^{-1}$ );

Cmm= consumo médio horário da máquina (L  $he^{-1}$ ); e

Pu= preço por litro de combustível (US\$  $L^{-1}$ ).

Foram considerados para efeito deste cálculo:

Pu= 2,19 R\$  $L^{-1}$  (área A); 2,24 R\$  $L^{-1}$  (área B). Estes valores foram obtidos através de consulta telefônica a postos de combustíveis nas áreas de estudo, sendo este o valor médio para a data de 22/02/2013.

### b) Lubrificantes

Os custos referentes ao consumo de óleos e graxas foram calculados com base em um percentual de combustível gasto pela máquina como preconiza Silva (2008) e são apresentados na equação17.

$$I = ILG \ Comb \quad (17)$$

onde:

I= custo de lubrificantes (US\$  $he^{-1}$ );

ILG= índice de custos com lubrificantes (20 %); e

Comb= custos com combustíveis (US\$  $he^{-1}$ ).

### c) Óleo hidráulico

Estes custos foram calculados com base em um percentual do custo de combustível da máquina (equação 18) de acordo com Silva (2008) sendo este percentual obtido pelas empresas correspondendo a 20 % para o *harvester* e 50 % para o *forwarder*.

$$Oh = I Comb \quad (18)$$

Em que:

Oh= custo com óleo hidráulico (US\$ he<sup>-1</sup>);

I= índice de consumo de óleo hidráulico por máquina (20 % para o *harvester* e 50 % para *forwarder*);

Comb= custos com combustíveis (US\$ he<sup>-1</sup>).

### d) Custo de pneus/esteiras

Os custos de pneus e esteiras foram calculados pela equação 19.

$$Pe = \frac{Npe Vpe}{Hpe} \quad (19)$$

onde:

Pe= custo de pneus e/ou esteiras (US\$ he<sup>-1</sup>);

Npe= número de pneus e/ou esteiras por máquina;

Vpe= valor de um pneu e/ou esteira da máquina (US\$); e

Hpe= vida útil do pneu e/ou esteira (he).

### e) Manutenção e Reparos

Em ambas as áreas os custos de manutenção e reparos foram calculados para a vida útil das máquinas levando em consideração mão de obra e encargos sociais, peças de reposição e outros materiais conforme Simões e Fenner (2010b), expresso pela equação 20.

$$CMR = \frac{\left[ Ca FR_1 \left( \frac{h+He}{1000} \right)^{FR_2} \right] - \left[ Ca FR_1 \left( \frac{h}{1000} \right)^{FR_2} \right]}{He} \quad (20)$$

onde:

CMR= custo de manutenção e reparos (US\$ he<sup>-1</sup>);

Ca= custo de aquisição da máquina (US\$);

FR<sub>1</sub>= fator de reparo 1 (0,003);

h= horas de uso acumulada até o início do ano em análise;

FR<sub>2</sub>= fator de reparo 2 (2,0); e

He= horas efetivas de uso no ano de análise.

#### f) Mão de obra

Os custos da mão de obra foram calculados pela equação 21 e referem-se ao custo total dos operadores como salário mensal, 13º salário, férias, benefícios, encargos sociais, seguros, cuidados médicos e alimentação (BURLA, 2008).

$$MDO = \left[ \frac{Sop ES M}{He} \right] \quad (21)$$

onde:

MDO= custo de mão de obra por hora efetiva (US\$. he<sup>-1</sup>);

Sop= salário mensal do operador (US\$);

ES= taxa de encargos sociais (1,74);

M= meses no ano (12); e

he= horas efetivas trabalhadas no mês.

#### g) Transporte de pessoal

Refere-se ao custo de deslocamento de pessoal até o local das operações de colheita e é apresentado na equação 22. Este custo foi obtido utilizando os valores fornecidos pela empresa de transporte de funcionários da região de US\$ 0,38 km<sup>-1</sup> na área A e US\$ 0,42 km<sup>-1</sup> na área B, sendo que a média de deslocamento diário foi de 210 km na área A e 330 na área B nos três turnos de operação em cada área.

$$TP = \left[ \frac{dd \ ck \ da}{He \ Ne} \right] \quad (22)$$

onde:

TP= custo de transporte de pessoal (US\$. he<sup>-1</sup>);

dd= média de deslocamentos diários (km dia<sup>-1</sup>);

ck= custo por quilômetro (US\$ km<sup>-1</sup>);

da= dias trabalhados no ano;

He= horas efetivas trabalhadas no mês; e

Ne= número de operadores por veículo de transporte (18).

#### h) Transporte de maquinários

É o custo de transporte de máquinas entre projetos ou fazendas, representado pela equação 23.

$$TM = ITM \ TP \quad (23)$$

onde:

TM= custo de lubrificantes (US\$ he<sup>-1</sup>);

ITM= índice de transporte de máquinas (75 %); e

TP= custo de transporte de pessoal (US\$).

### 3.6.3. Determinação dos custos de produção

O custo operacional é obtido através da soma dos custos fixos e custos variáveis. Após calcular o custo operacional, é possível calcular o custo de produção. O custo de produção de cada máquina foi calculado com o uso da equação 24.

$$CPr = \frac{CT}{Prod} \quad (24)$$

onde:

- CPr = custo de produção da máquina analisada (US\$ m<sup>-3</sup>);
- CT = custo operacional total da máquina analisada (US\$ he<sup>-1</sup>); e
- Prod = produtividade da máquina analisada (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>).

### 3.7. ATIVIDADES DURANTE O PERÍODO DE PARADA DAS MÁQUINAS

No sentido de conhecer a distribuição entre as atividades e ações que ocorreram durante o período em que as máquinas não estiveram em efetiva operação foram levantados os dados referentes às paradas, considerando aqui tempo de paradas o momento em que a máquina esteve desligada ou quando teve que se deslocar de um talhão a outro. Estes dados foram obtidos somente na área B em razão de que durante a coleta de dados da área A tais informações não foram coletadas. Assim de forma adjacente ao trabalho a análise procedeu-se através da observação durante o turno de trabalho, enquanto ocorriam as paradas eram anotadas em uma planilha simples o tempo e o motivo da parada. Estes dados foram comparados com o relatório apresentado pelo software MaxiXplorer que relatava diariamente as horas paradas da máquina. O método de cronometragem utilizado foi o contínuo em razão dos intervalos durante a parada serem relativamente longos.

### 3.8. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Foi realizada uma análise de sensibilidade para determinar os valores mínimos, médios e máximos das variáveis mais relevantes constituintes do custo operacional do sistema de colheita em cada uma das condições de operação de colheita. Foi considerada uma variação de 40 % (20 % para mais e para menos) nos valores dos seguintes componentes do custo operacional: taxa de juros, preço do combustível, depreciação, valor da máquina, vida útil da máquina e manutenção e reparos. Na análise de sensibilidade foram adotados os valores de custo operacional para a condição de operação com duas máquinas novas e taxa de utilização de 60 %, durante três turnos de trabalho em período total diário de 24 horas. A partir destes dados foram plotados os valores graficamente em diagramas *spiderplot* com os valores obtidos de custo operacional para cada área e cada máquina.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. AVALIAÇÃO TÉCNICA E OPERACIONAL

#### 4.1.1. Área A

##### Produtividade

Os resultados mostram que a produtividade do *harvester* na área A não decresceu com o aumento do percentual de inclinação do terreno nas parcelas, atingindo uma produtividade média de  $28,7 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ . Este valor se diferencia do valor médio de operação padrão da empresa em condições de declividade de  $0^\circ$  a  $24^\circ$  de declividade, que é de  $21,8 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ . Esta diferença entre a produtividade média padrão da empresa e a produtividade média nas parcelas pode ser explicada pelo fato de que na operação padrão são levadas em consideração as operações de retorno dentro do eito sem realização da operação. Os volumes médios obtidos através do sistema eletrônico da máquina para as distintas classes de declividade nas parcelas amostradas foram os seguintes: Classe I ( $20^\circ \geq d \geq 0^\circ$ ):  $30,5 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ ; Classe II ( $27^\circ \geq d \geq 20,1^\circ$ ):  $28,2 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  e Classe III ( $d > 27^\circ$ ):  $27,3 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ .

A Análise de Variância e o teste de Tukey evidenciaram que estatisticamente a produtividade média não se diferenciou nas três classes de declividade. Esses resultados se assemelham aos obtidos por Simões e Fenner (2010a), que apresentaram diferenças de produtividade ao estudar a influência do relevo na produtividade de um *harvester* em plantações de eucalipto com declividades que variaram de 10 a 25 %. Além das declividades do trabalho citado serem notadamente inferiores às adotadas no presente estudo, o *harvester* X3M foi projetado para trabalhar em altas declividades o que foi evidenciado pelo resultado da análise de variância. A TABELA 6 apresenta a análise de variância da produtividade média em função das classes de declividade.



TABELA 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA PRODUTIVIDADE MÉDIA EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	P
Blocos	2	117,86	58,93	5,05*	<0,005
Classes de declividade	2	17,02	8,5133	0,73*	
Resíduo	4	46,58	11,64		
Total	8	102,63			

\*Não significativo a 95 % de probabilidade de confiança

A análise de variância aponta que entre as classes de declividade e entre os sortimentos analisados não existiu diferença significativa entre as médias de produtividade obtidas em função de que os valores de F observado foram inferiores aos valores de F requeridos (6,94).

Os valores médios de produtividade ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ ) para as declividades medidas na análise de regressão são apresentados na FIGURA 16. A análise de regressão linear foi feita através do método da Soma de Quadrados dos Produtos Corrigidos, e demonstrou baixa correlação da produtividade do *harvester* com a declividade, com  $r = 0,4829$  e erro padrão da estimativa de 28,22 %. Esta análise corrobora o resultado obtido com a análise de variância.

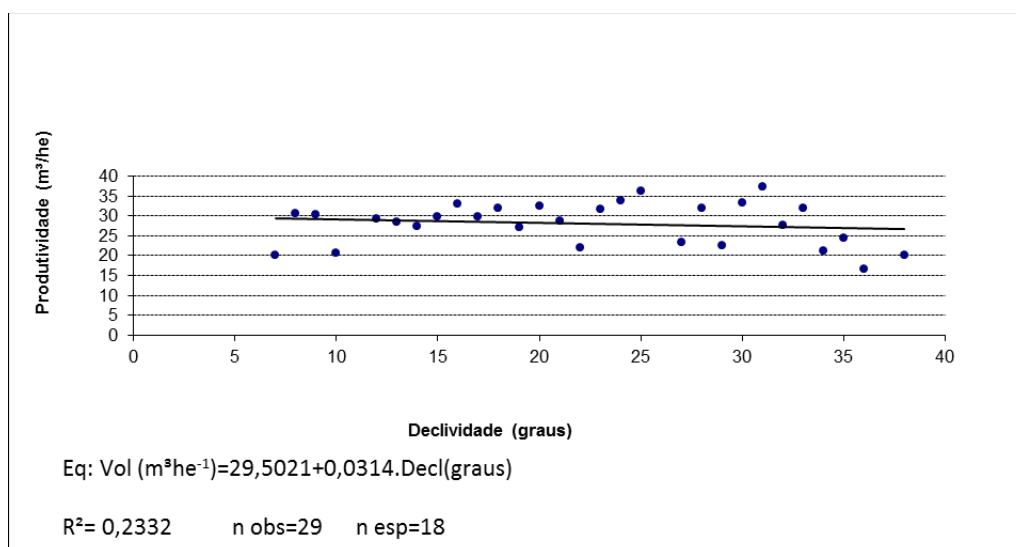


FIGURA 16 – PRODUTIVIDADE DO HARVESTER NAS PARCELAS EM DIFERENTES DECLIVIDADES.

A baixa correlação da produtividade com a declividade difere dos resultados apresentados por Bramucci e Seixas (2002); Jiroušek *et al.*, (2007); Martins *et al.*, (2009); Simões e Fenner (2010a) que avaliaram a influência da declividade na produtividade de *harvesters* convencionais e não em *harvesters* especificamente projetados para operação em terrenos declivosos, podendo ser, portanto o volume médio individual, o fator que mais influenciou as diferentes produtividades, visto que Stampfer e Steinmüller (2001, 2004) e Burla (2008) atestam que o volume médio individual é o principal fator de influência da produtividade de um *harvester*.

Fernandes *et al.*, (2013) em estudo com *harvester* com rodado de pneus equipados com semiesteiras encontraram em declividades entre 20,1° e 30° as menores produtividades, fato este que se diferencia dos encontrados neste estudo nos sortimentos de 3,30 m e 6 m com casca. Deste modo, a adaptação estrutural de esteiras no *bogie* do *harvester* 911.3 X3M pode ser o principal motivo para que não exista diferença de produtividade em diferentes classes de declividade. Estes resultados mostraram-se diferentes dos apresentados por outros estudos acima apresentados em razão específica de que o *harvester* X3M foi projetado para atuar em terrenos declivosos. Na TABELA 7 são apresentados os valores de produtividade, volume colhido e volume médio individual por árvore em cada sortimento e cada classe de declividade. Como pode ser visto a produtividade da máquina no sortimento de 6,00 m com casca decresceu enquanto aumentava-se a declividade. Este comportamento de decréscimo da produtividade não ocorreu nos outros sortimentos analisados.

TABELA 7 – PRODUTIVIDADES EM M<sup>3</sup> HE<sup>-1</sup> NAS CLASSES DE DECLIVIDADE E COMPRIMENTOS DE TORA.

Sortimento	Classes de Declividade								
	0° a 20°			20,1° a 27°			Acima de 27,1°		
	Produtividade média (m <sup>3</sup> he <sup>-1</sup> )	Volume colhido (m <sup>3</sup> )	Volume médio individual por árvore (m <sup>3</sup> )	Produtividade média (m <sup>3</sup> he <sup>-1</sup> )	Volume colhido (m <sup>3</sup> )	Volume médio individual por árvore (m <sup>3</sup> )	Produtividade média (m <sup>3</sup> he <sup>-1</sup> )	Volume colhido (m <sup>3</sup> )	Volume médio individual por árvore (m <sup>3</sup> )
3,3 m com casca	31,9 Aa	333,72	0,309	34,6 Aa	102,96	0,289	30,4 Aa	65,4	0,218
6,0 m com casca	26,9 Ba	209,5	0,194	25,7 Bab	72,3	0,201	20,0 Bb	57,9	0,193
6,3 m sem casca	32,7 Aa	263,5	0,244	25,5 Bb	69,4	0,193	31,5 Aa	76,5	0,255

**Nota:** Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Os resultados da TABELA 7 mostram que em todas as classes de declividade a produtividade aumentou com o aumento volume médio individual por árvore. Enquanto que na classe de 20° a 27° foram encontradas as menores produtividades quando foi realizado o processamento de toras com 6 metros. Além de que a menor produtividade foi encontrada na classe de declividade acima de 27,1° com comprimentos de tora com 6 metros com casca. Ainda no sortimento de 6 metros com casca foi observado o decréscimo da produtividade à medida que se aumentava a declividade. As maiores produtividades (34,6 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup> com 3,30 m entre 20,1° e 27° e 32,7 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup> com 6,30 m e de 0° a 20°) são justificadas pelo fato de que especificamente nestes sortimentos e nestas classes de declividade os volumes médios individuais por árvore podem ter sido os fatores determinantes destas produtividades. Reforçando esta justificativa, os resultados mostraram que onde as produtividades médias em cada classe de declividade se diferenciavam estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância, foram onde ficaram evidenciados os maiores valores de VMI, atestando assim que o volume médio individual é responsável pela diferença nas médias de produtividade obtidas.

Nas classes de declividade de 0° a 20° e acima de 27,1° a produtividade decresceu quando as árvores foram processadas com o sortimento de 6,0 m com casca. Este decréscimo pode ser explicado pelo fato de que nestas declividades o VMI deste sortimento foi o menor quando comparado ao de 3,30 m com casca e 6,30 m sem casca.

A declividade influenciou negativamente a produtividade quando o sortimento em comprimento é maior (6 metros) e quando não foi necessário um maior número de operações parciais como, por exemplo, o descascamento.

### **Sentido de deslocamento**

A declividade média nos diferentes sentidos foi de 19° e 22° para o sentido ascendente e descendente, respectivamente. O volume médio individual (VMI) quando a máquina operou na subida foi de 0,243 m<sup>3</sup>, sendo que na descida esse volume foi de 0,230 m<sup>3</sup>. A partir destes dados o teste de “t” indicou que o sentido de deslocamento do *harvester* nas operações de corte nas parcelas não influenciou

estatisticamente na produtividade. A produtividade média no greide ascendente foi de  $29,9 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ , enquanto no greide descendente foi de  $27,5 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ . Estes resultados se diferem pouco dos obtidos por Leite (2012) que avaliando um *harvester* John Deere 1270D em condições de floresta semelhantes obteve nos resultados uma diferença de 6,25 % a mais na produtividade no sentido de aclone, enquanto que com o *harvester* X3M esta diferença foi de 3,35 %, visto que tiveram que ser descontadas as diferenças entre os volumes médios individuais em cada sentido. Este comportamento pode ser explicado em razão das características operacionais no deslocamento em aclone, pois as mesmas proporcionam melhores condições biomecânicas e do campo visual ao operador. E pelo fato citado por Kellog e Bettinger (2004) que em declives o campo de visão do cabeçote pode ser bloqueado pelos rodados do chassi da máquina.

Os resultados mostram que a derrubada e processamento pelo *harvester* em terrenos acidentados podem ocorrer tanto descendo como subindo, sendo que a operação tende a se tornar mais confortável e segura no sentido ascendente em razão de uma maior estabilidade da máquina, ocorrendo o inverso nas operações no sentido descendente, principalmente no que tange a estabilidade da máquina quando a mesma derruba e processa com o braço mecânico e cabeçote muito abaixo do nível da cabine da máquina.

### **Estudo de tempos e movimentos**

O percentual de tempo das operações parciais do ciclo operacional do *harvester* com o sortimento de 3,30 metros em relação ao tempo total está apresentado na FIGURA 17.

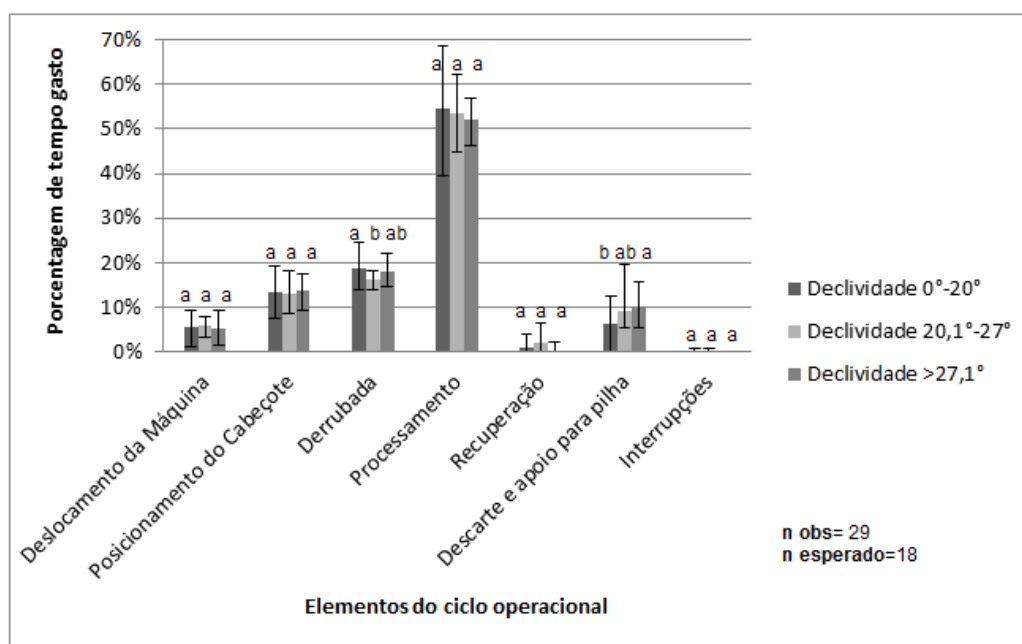


FIGURA 17 – PERCENTUAIS DE TEMPOS DOS ELEMENTOS DO CICLO OPERACIONAL DO HARVESTER X3M EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL EM TRÊS CLASSES DE DECLIVIDADE NO SORTIMENTO DE 3,30 M COM CASCA.

NOTA: MÉDIAS SEGUIDAS PELA MESMA LETRA MINÚSCULA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5 % DE SIGNIFICÂNCIA.

Conforme pode ser visto, para todas as classes de declividade avaliadas o maior tempo despendido ocorreu na operação de processamento, com média de 53 % do tempo total do ciclo operacional. Os percentuais de tempo nas distintas etapas do processo podem ser considerados similares nas diferentes declividades, o que corrobora com os resultados obtidos na análise de produtividade em função das distintas classes de declividade. As exceções foram evidenciadas na derrubada e no descarte, onde o teste de Tukey a 5 % de significância mostrou diferença entre o tempo dispendido nas três classes de declividade analisadas.

A Derrubada gastou mais tempo para ser realizada no terreno mais plano enquanto que nas maiores declividades o tempo gasto foi menor. O descarte e apoio para pilha foi menor nos terrenos mais planos, o que se justifica pela existência de declividade mais baixa e consequente menor necessidade de apoio a pilha.

No sortimento de 6,00 metros com casca o posicionamento do cabeçote e a recuperação foram os elementos do ciclo operacional que obtiveram diferenças estatísticas nas porcentagens após a aplicação do teste de Tukey (FIGURA 18).

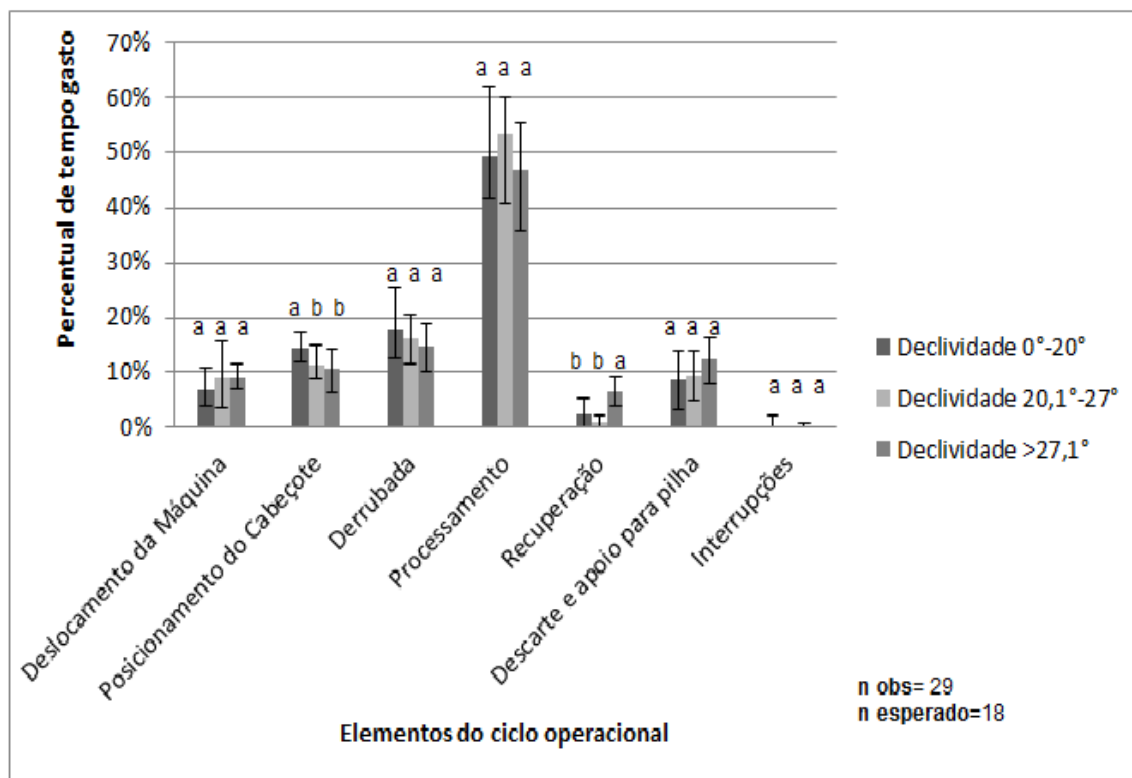


FIGURA 18 – PERCENTUAIS DE TEMPOS DOS ELEMENTOS DO CICLO OPERACIONAL DO HARVESTER X3M EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL EM TRÊS CLASSES DE DECLIVIDADE NO SORTIMENTO DE 6,00M COM CASCA.  
NOTA: MÉDIAS SEGUIDAS PELA MESMA LETRA MINÚSCULA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5 % DE SIGNIFICÂNCIA.

O posicionamento do cabeçote mostrou menor porcentagem de tempo gasto a partir dos 20,1° de declividade. Esta menor porcentagem de tempo pode ter a influência do sentido de operação e consequente maior dificuldade na visualização da base da árvore para posicionar o cabeçote.

A recuperação teve maior tempo gasto nas declividades acima de 27,1°. Isto se dá pelo fato da dificuldade de estabilização da máquina no terreno nesta declividade aliado a maior movimentação e maiores raios de alcance da lança.

No sortimento sem casca com 6,30 metros não foram evidenciadas diferenças estatísticas entre as classes de declividade entre os elementos do ciclo operacional (FIGURA 19).

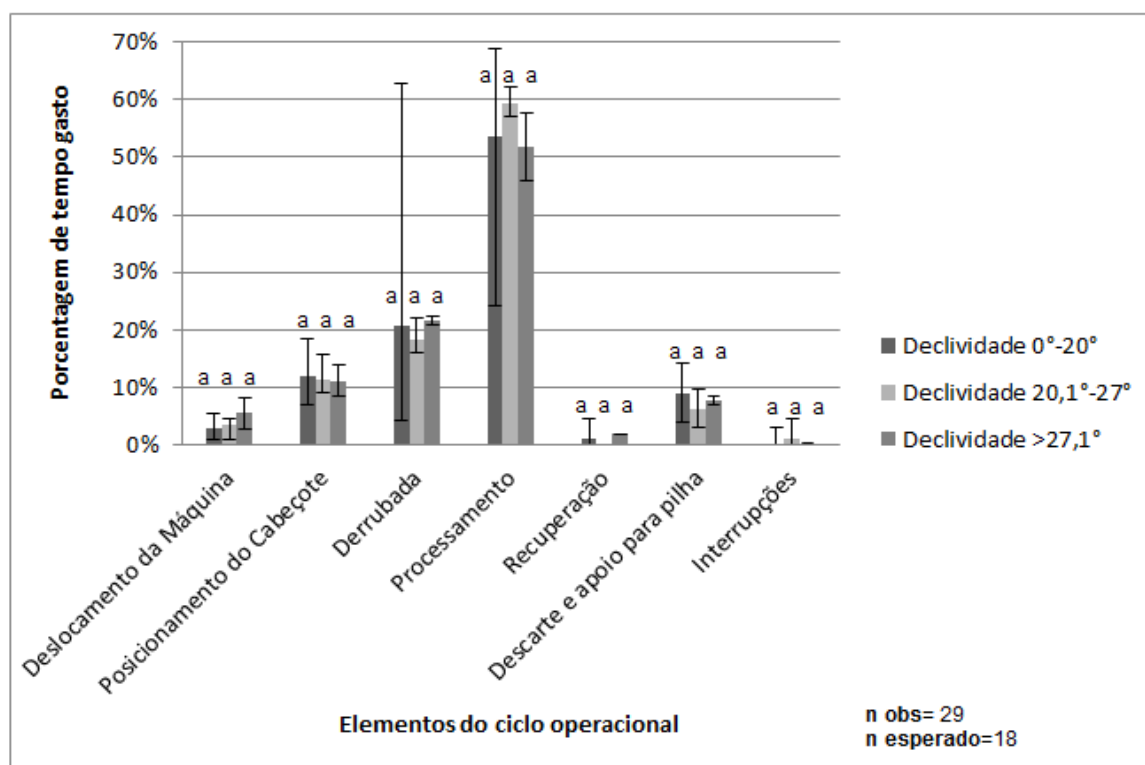


FIGURA 19 – PERCENTUAIS DE TEMPOS DOS ELEMENTOS DO CICLO OPERACIONAL DO HARVESTER X3M EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL EM TRÊS CLASSES DE DECLIVIDADE NO SORTIMENTO DE 6,30M SEM CASCA.

NOTA: MÉDIAS SEGUIDAS PELA MESMA LETRA MINÚSCULA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5 % DE SIGNIFICÂNCIA.

No entanto, na classe de declividade de 0° a 20° no processamento e na derrubada foram evidenciadas as maiores amplitudes de tempo gasto (máximo e mínimo tempo dispendido) dentre os elementos do ciclo operacional no sortimento e entre todos os sortimentos. Isto pode se dar em razão de que especificamente no descascamento o operador, por estar em um terreno mais plano que garante maior estabilidade da máquina, realizou tais operações buscando garantir maior qualidade à tora, gerando assim uma possível repetição das operações em algumas parcelas. Já no caso da derrubada nas menores declividades geralmente são os pontos onde se localizam as entradas de talhão e as árvores de bordadura que exigem por parte do operador maior tempo para a derrubada e até mesmo para o desgalhamento e descascamento, visto que ao entrar no talhão não existe muito espaço livre, ou sem árvores, para a realização do desgalhamento, descascamento e derrubada sem que o operador tenha que buscar o melhor posicionamento entre as árvores para criar as primeiras pilhas.

O processamento e em seguida a derrubada obtiveram maiores percentuais

nos três sortimentos de modo geral nas três classes de declividade quando comparados aos outros elementos do ciclo operacional.

Em todos os sortimentos as operações de deslocamento da máquina e descarte e apoio para pilha apresentaram o mesmo comportamento quanto ao percentual de tempo gasto em relação ao tempo total, ou seja, gastaram mais tempo para serem realizadas à medida que se aumentava a declividade. Isto se deve ao fato de que ao deslocar a máquina em declividades maiores o operador deve se atentar para manter as esteiras em contato contínuo com o solo bem como para que não ocorra o escorregamento ou deslizamento da máquina devido a umidade do solo ou estrutura do solo. O operador tem como orientação visar a segurança da operação e a minimização de impactos ao solo, apesar de que Korten e Matthies (2003a) atestam que em comparação com uma área referência (testemunha) e com os trilhos de extração foram evidenciadas muito poucas alterações na estrutura do solo quando da passagem do *harvester* 911 X3M.

O processamento pode receber por parte do operador o mesmo cuidado quando a máquina se desloca em declividades maiores em razão de que ao realizar o mesmo, o operador deve atentar-se para manter a máquina estável enquanto a tora passa pelo cabeçote para ser seccionada. Em todas as classes de declividade e sortimentos as operações de processamento (traçamento, descascamento e desgalhamento) foram em média maiores que 50 % do tempo total das operações parciais do *harvester*, o que corrobora com o estudo realizado com o *harvester* marca Valmet modelo 911 X3M por Korten *et al.*, (2003) que observaram que em condições de trabalho e manejo realizado em florestas naturais da Alemanha e sem levar em consideração a variação na declividade, 51% do tempo de trabalho da máquina foi gasto para as operações de corte e processamento.

Martins *et al.*, (2009) em seu trabalho com o *harvester* avaliaram através de um estudo de tempos e movimentos que dentre as ações compreendidas no ciclo do corte florestal, o processamento foi o que teve o maior tempo médio gasto dentro da operação, além de que o volume médio individual (VMI) foi a variável que mais esteve correlacionada a produtividade do *harvester* o que de modo geral se assemelha aos resultados apresentados.

O tempo gasto para as interrupções em todos os sortimentos foi em média 0,20 %, o que pode ser considerado muito baixo. Simões e Fenner (2010a)



encontraram um valor médio de 13,6 % do tempo total do ciclo operacional, enquanto Burla (2008) encontrou para a mesma operação valor médio de 1 %. Este baixo valor se dá em razão de que geralmente as pausas aconteciam no intervalo entre as parcelas.

Spinelli *et al.*, (2002), ao estudarem a produtividade do *harvester* em terrenos planos e declivosos com processamento em toras de 2 m e 4 m, concluíram que as condições do terreno, o *layout* operacional, o volume e a forma das árvores, e o comprimento das toras influenciam na duração de cada operação parcial do *harvester*, mostrando assim que as diferenças dos tempos gastos encontradas em cada classe de declividade podem ter sido influenciadas pelo terreno.

Com o sortimento de 3,30 metros com casca a ação de processamento no sentido ascendente apresentou um valor 7,5 % maior quando comparada ao sentido descendente. O mesmo comportamento foi evidenciado nas operações de derrubada como pode ser visto na FIGURA 20, onde o *harvester* gastou mais tempo na derrubada enquanto a realizava subindo. Essa diferença pode ser explicada em função de que em sentido ascendente o operador deve ter maior cuidado com o exato local de traçamento e processamento evitando a má formação de pilhas que podem eventualmente rolar em direção a máquina.

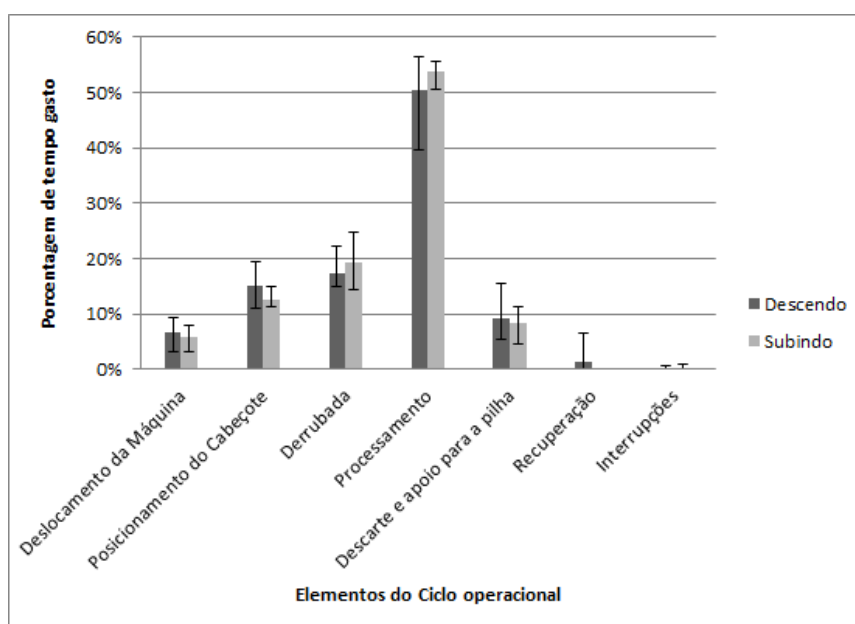


FIGURA 20 – PERCENTUAIS DE TEMPO GASTO EM CADA ELEMENTO DO CICLO OPERACIONAL NO SORTIMENTO DE 3,30 METROS COM CASCA EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL NOS SENTIDOS DE OPERAÇÃO.

O comportamento apresentado na FIGURA 20 referente ao deslocamento da máquina, posicionamento do cabeçote e descarte e apoio para pilha no ciclo operacional, mostra que em média foi necessário menos tempo para a realização destas operações enquanto a máquina operava no aclave, o que corrobora com o que Stampfer e Steinmüller (2004) apresentam sobre a maior facilidade na realização das operações em aclives quando comparadas com declives.

No sortimento de 6,00 metros com casca foi observado na FIGURA 21, porém com menor diferença, o mesmo comportamento observado com 3,30 metros no processamento, onde no sentido ascendente o tempo gasto mostrou-se maior que no sentido descendente. Este comportamento repetiu-se nos elementos do ciclo operacional de posicionamento do cabeçote e derrubada.

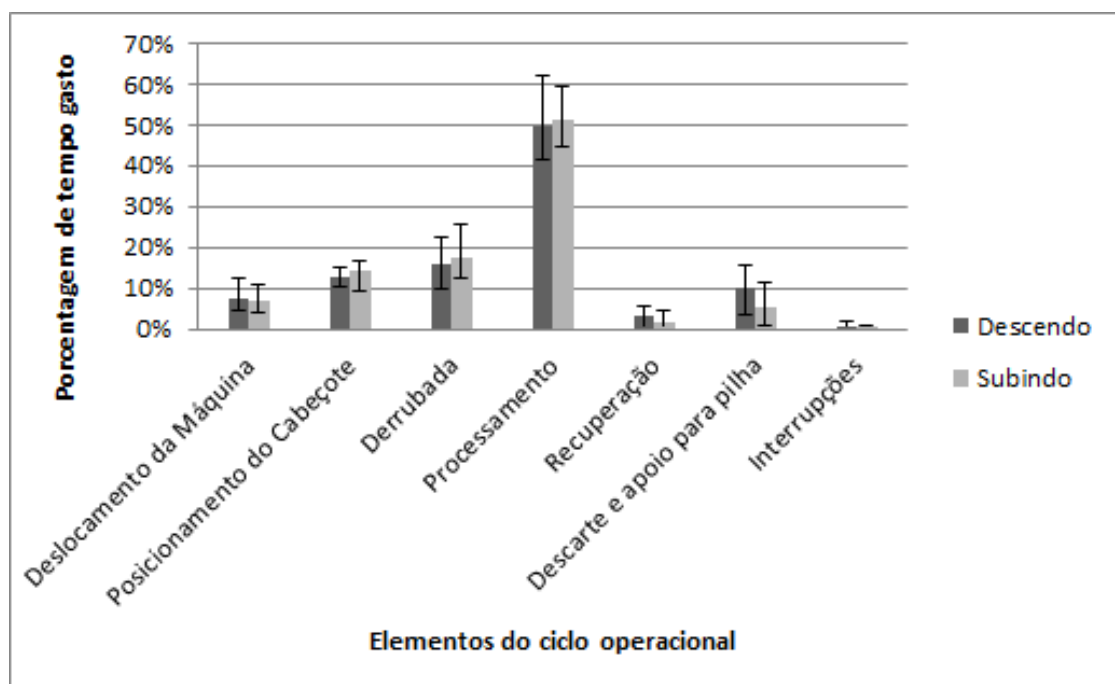


FIGURA 191 – PERCENTUAIS DE TEMPO GASTO EM CADA ELEMENTO DO CICLO OPERACIONAL NO SORTIMENTO DE 6,00 METROS COM CASCA EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL NOS SENTIDOS DE OPERAÇÃO.

A derrubada mostrou valores percentuais menores que os apresentados no sortimento de 3,30 metros, no entanto o mesmo comportamento mostra que nestes sortimentos o *harvester* demora mais tempo para derrubar as árvores enquanto sobe. No sortimento de 6,30 metros sem casca não foi evidenciado na FIGURA 22 diferenças no tempo gasto para o processamento em razão do descascamento, visto que o tempo gasto ficou em torno de 50 % do tempo total em todos os sortimentos.

Entretanto foi na derrubada que foi verificado um comportamento diferente ao que ocorreu nos sortimentos anteriores apresentados, onde na operação descendente este elemento do ciclo operacional gastou mais tempo.

De modo geral o processamento gastou mais tempo para ser realizado enquanto o *harvester* subia em todos os sortimentos, podendo isto estar atrelado ao fato de que ao processar na subida existe a possibilidade das toras correrem em direção à máquina o que exige maior atenção do operador.

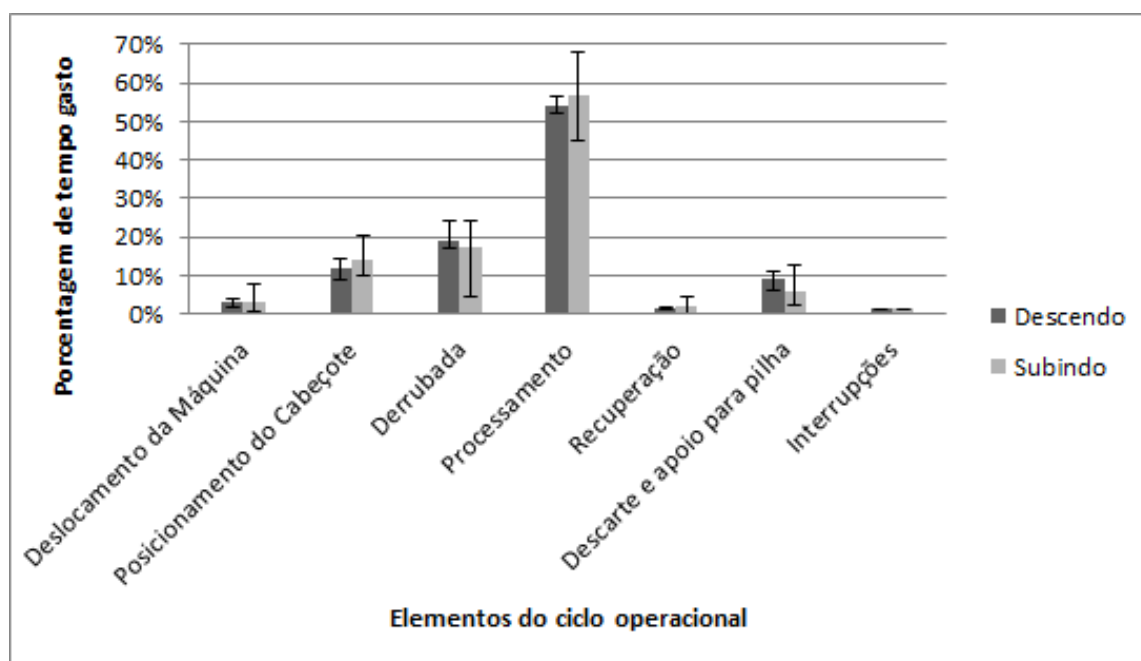


FIGURA 202 – PERCENTUAIS DE TEMPO GASTO EM CADA ELEMENTO DO CICLO OPERACIONAL NO SORTIMENTO DE 6,30 METROS SEM CASCA EM RELAÇÃO AO TEMPO TOTAL NOS SENTIDOS DE OPERAÇÃO.

De acordo com Frutig *et al.*, (2007) o rendimento operacional do *harvester* em áreas declivosas está fortemente relacionado com a existência ou não de uma rede viária que garanta a otimização operacional desta máquina no seu melhor sentido de trabalho, uma vez que a existência de uma área (que geralmente é uma estrada) que permita a manobra do *harvester* quando o mesmo termina o corte de uma linha na parte mais baixa do terreno é de fundamental importância para o melhor aproveitamento da operação. Se essa área para manobra da máquina inexistir, o mesmo acaba voltando de ré para iniciar o corte, no caso de plantações florestais, da próxima linha na parte mais alta do terreno prejudicando o rendimento operacional do processo.

#### 4.1.2. Área B

##### Produtividade

##### Operação de Corte Florestal

A produtividade média avaliada nas duas classes de declividade indicaram que o *harvester* atingiu  $16,1 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  na declividade até  $25^\circ$  enquanto que a produtividade média analisada na classe de declividade acima de  $25,1^\circ$  foi de  $14,2 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ . Estes valores mostram-se menores que os apresentados por Stampfer e Steinmüller (2001) que em árvores com volume médio individual de  $0,6 \text{ m}^3$  obtiveram a produtividade de  $24,7 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  e também foram menores que a produtividade média de  $28,7 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  apresentada na área A desta pesquisa. A menor produtividade verificada em São Paulo pode estar estritamente atrelada ao volume médio individual que era menor que nos outros resultados citados acima. A produtividade em metros cúbicos por hora é apresentada na FIGURA 23.

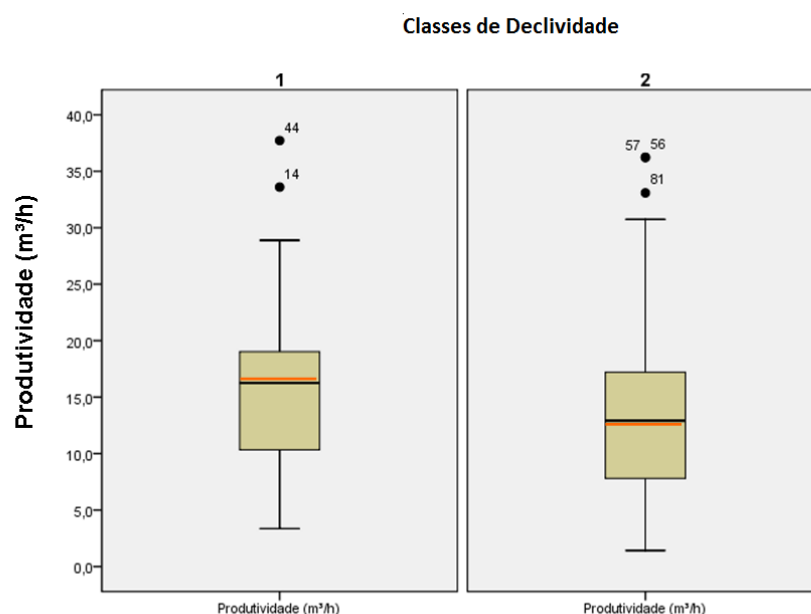


FIGURA 213 – VALORES DA PRODUTIVIDADE E PRODUTIVIDADE MÉDIA EM RELAÇÃO A DUAS CLASSES DE DECLIVIDADE ANALISADAS PARA O HARVESTER.  
NOTA: OS TRAÇOS EM LARANJA REPRESENTAM A MÉDIA.

A produtividade média na classe de declividade 1, que possuía uma declividade média de  $20^\circ$ , mostrou-se 11,2 % maior que na classe 2, que possuía

declividade média de 28,5°. Estes resultados seguem a mesma tendência apresentada no trabalho de Stampfer e Steinmüller (2004) que ao analisarem o mesmo modelo de *harvester* encontraram nos valores de produtividade em operações de desbaste seletivo em declividades de 14°, uma média 4,6 % maior que em declividades de 33°.

Observa-se também na FIGURA 23 que o melhor desempenho do *harvester* na classe de declividade 1 se evidencia na análise sobre os valores mínimos de produtividade sendo estes superiores aos apresentados na classe de declividade 2, bem como os valores máximos que apresentam o mesmo comportamento.

Ao analisar a mediana nas duas classes de declividade a diferença não é tão evidente, o que indica que ao dividir o desempenho da máquina em duas partes em cada classe pode-se obter valores semelhantes na faixa média de produtividade.

Pode-se verificar na FIGURA 24 que a classe de declividade 1 mostrou uma baixíssima relação da declividade com a produtividade. Nota-se que o coeficiente angular (0,2506) é positivo, mas mesmo assim com o aumento da declividade não é definido o aumento da produtividade, como é possível observar no coeficiente de determinação ( $R^2=0,0336$ ).

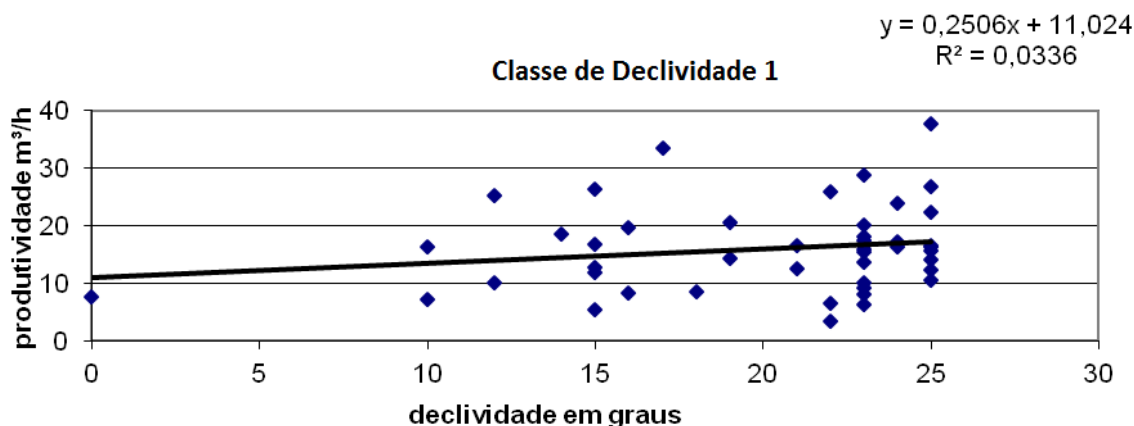


FIGURA 224 – DISTRIBUIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO *HARVESTER* EM DIFERENTES DECLIVIDADES ATÉ 25°.

Este comportamento não seguiu a mesma tendência quando é observada a FIGURA 25 referente à classe de declividade 2.

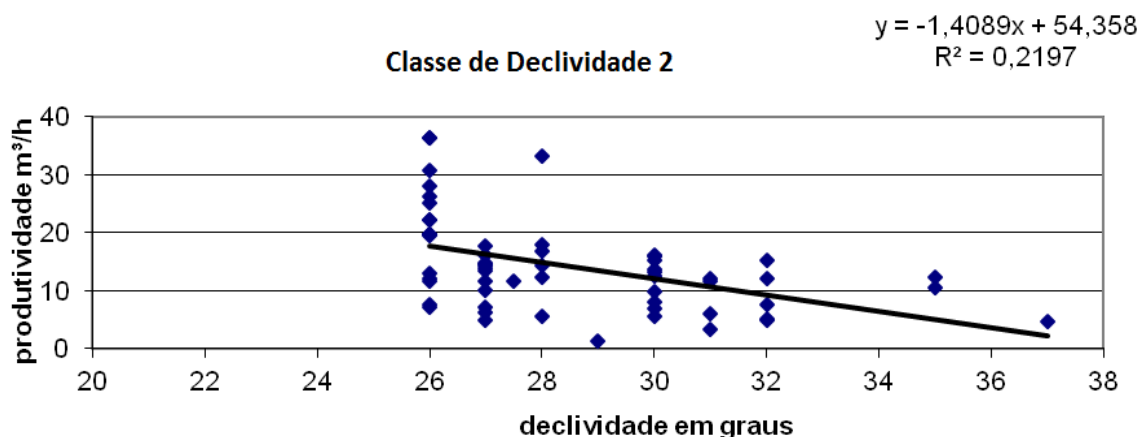


FIGURA 235 – DISTRIBUIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO *HARVESTER* EM DIFERENTES DECLIVIDADES ACIMA DE 25°.

Na classe de declividade 2 o coeficiente de determinação ( $R^2=0,2197$ ) mostrou-se mais alto que na regressão referente a classe de declividade 1, porém mesmo assim se demonstra relativamente baixo. O comportamento da produtividade em relação à declividade mostra que ao aumentar a declividade existe a tendência de que a produtividade diminua, mesmo que esta tendência seja ainda assim muito baixa.

Em estudos relacionados às variáveis que influenciam na produtividade de máquinas na colheita florestal Malinovski *et al.*, (2006) concluíram que a declividade é uma das variáveis limitantes nas operações de colheita de madeira, que ocorrem dentro do povoamento, e que quanto maior for a declividade, maiores serão as limitações ao deslocamento da máquina no terreno, e, por conseguinte, menor será a produtividade. Os mesmos autores afirmam ainda que as produtividades do *harvester* na operação de corte e do *forwarder*, na operação de extração, são fortemente influenciadas pela declividade. Entretanto tais afirmações não se confirmaram neste estudo com o *harvester* X3M visto que nas figuras 24 e 25 é possível observar baixos coeficientes de correlação da declividade com a produtividade.

Assim, pode se afirmar que, em geral, tanto neste estudo nas duas áreas, quanto no de Korten (2003), o desempenho do *harvester* 911 X3M está em um nível apropriado ao de operação em terrenos declivosos.

## Operação de Extração Florestal

A FIGURA 26 mostra a produtividade média, bem como os valores máximos, mínimos, resultados de primeiro quartil, mediana e terceiro quartil entre os 5 tratamentos estudados na avaliação do *forwarder*.

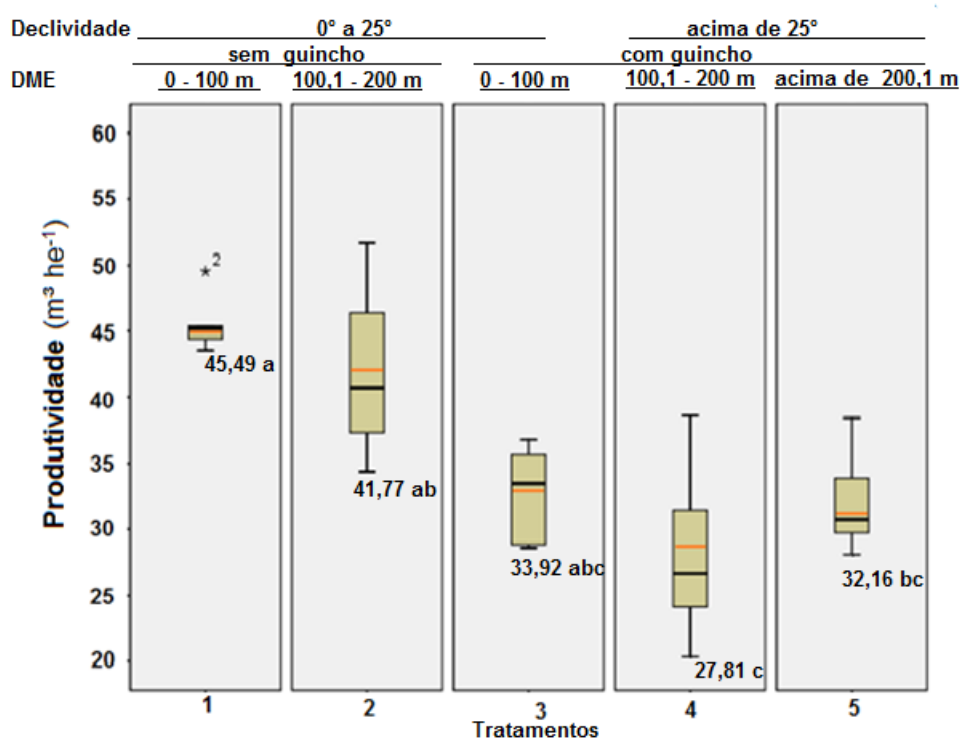


FIGURA 246 – VALORES DA PRODUTIVIDADE E PRODUTIVIDADE MÉDIA EM RELAÇÃO AOS TRATAMENTOS ANALISADOS PARA O *FORWARDER*.

NOTA1: MÉDIAS SEGUIDAS PELA MESMA LETRA MINÚSCULA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5 % DE SIGNIFICÂNCIA.

NOTA2: AS MARCAS EM LARANJA REPRESENTAM AS MÉDIAS.

Isto mostra que em condições de declividade de 0° a 25° sem o uso do guincho a produtividade do *forwarder* diminui à medida que se aumenta a distância média de extração. Bacher-Winterhalter (2004) concluiu em seu trabalho realizado em terrenos de 0° a 22° que, apesar da extração com *forwarder* em regimes de desbaste seletivo na Alemanha ter atingido uma produtividade de 17 a 27 m³, estes valores foram influenciados por diferentes fatores e tiveram uma alta dispersão. Ainda comparando tratamentos em que a distância média de extração varia, como nos tratamentos 4 e 5 onde a classe de declividade (acima de 25,1°) e o uso do

guincho mantiveram-se constantes, tal comportamento não pode ser observado já que ao aumentar a distância média de extração diminuiu-se a produtividade. Mostrando assim que o tratamento que obteve o desempenho mais baixo quanto a produtividade foi onde foi utilizado o guincho de tração auxiliar, as declividades eram acima de 25,1° e a distância média de extração variou de 100,1 a 200 metros.

Verifica-se que o tratamento 1 com o 3, onde a única variável que se diferenciou foi o uso do guincho no tratamento 3, é possível verificar que em declividade de 0° a 25° e dentro da DME entre 0 a 100 metros o uso do guincho tornou a operação 29 % menos produtiva. Isto também foi observado na comparação entre o tratamento 2 e 4 em que as duas variáveis se diferenciavam, ou seja, a declividade e o uso do guincho (tratamento 4). A diferença na produtividade nesta comparação foi 33 % menor no tratamento com classe de declividade maior com uso do guincho.

As análises supracitadas, também podem ser observadas com a análise de correlação apresentados na TABELA 08.

TABELA 8 – CORRELAÇÃO DA VARIÁVEL PRODUTIVIDADE VERSUS DECLIVIDADE E DME.

Tratamento	Correlação	
	Declividade	DME (Distância Média de Extração)
1	-0,85	-0,02
2	0,03	0,88
3	-0,45	-0,33
4	-0,71	-0,03
5	-0,75	0,56

As maiores correlações envolvendo a variável declividade entre os tratamentos observados com relação a produtividade foram no tratamento 1, 4 e 5 e mostraram se negativas, o que demonstra uma relação inversa com a produtividade, ou seja, a medida que aumenta-se a declividade diminui-se a produtividade, sendo esta correlação mais forte em declividades de 0° a 25° com distâncias médias de extração entre 0 a 100 metros, sem o uso do guincho. A produtividade também tende a diminuir quando as declividades estão acima de 25° com o uso do guincho em distâncias médias de extração acima de 100 metros. Sem o uso do guincho e em declividade até 25° com distâncias médias de extração de 100 a 200 metros é observado que a distância média de extração apresenta a maior correlação com a



produtividade de modo que ao aumentar a DME aumenta-se a produtividade.

## Estudo de tempo e movimentos

### Operação de Corte Florestal

Korten e Matthies (2003b) observaram que o mesmo modelo de *harvester* atuando em florestas na Alemanha obteve uma distribuição das operações parciais semelhantes às apresentadas nestes resultados, onde o deslocamento atingiu em média 10 % do tempo gasto e que a derrubada e o processamento obtiveram 52,2 % do tempo do ciclo operacional. Na FIGURA 27 observa-se que a derrubada e o processamento gastaram 63 % do tempo, diferenciando-se dos resultados de Korten e Matthies (2003b). Esta diferença de aproximadamente 10 % entre o trabalho realizado na Alemanha por Korten e Matthies (2003b) e o obtido na área B se deve ao fato de que na área B as toras além de traçadas e desganhadas, também eram descascadas, o que demanda maior tempo para realização do processamento como um todo.

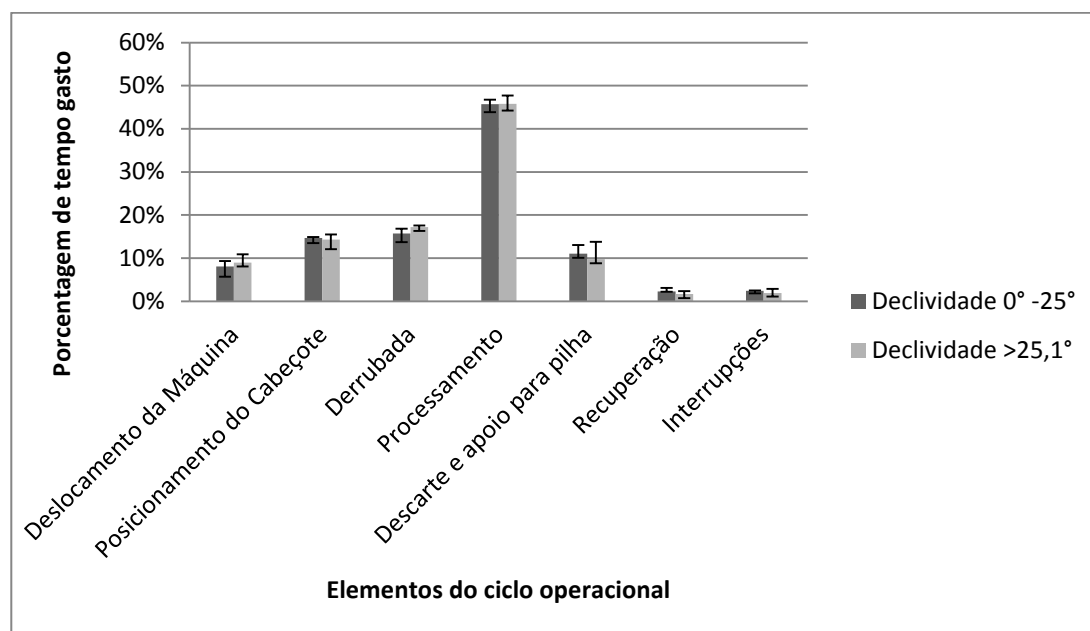


FIGURA 257 – DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO GASTO PELAS OPERAÇÕES PARCIAIS DO HARVESTER NAS DUAS CLASSES DE DECLIVIDADE.

No mesmo trabalho de Korten e Matthies (2003b), foi observado que foi gasto 10 % do tempo para o posicionamento do cabeçote, enquanto que no resultado da

área B gastou-se 14 % do tempo para esta operação parcial e na área A por volta de 12 % do tempo total em todos os sortimentos, mostrando a concordância e pouca diferença para a execução desta operação parcial entre estes resultados.

As operações parciais do *harvester* nas duas classes de declividade são na maioria semelhantes quanto à proporção de tempo gasto para a realização de cada operação parcial. No entanto, na operação de derrubada e movimentação do cabeçote foram observadas diferenças.

Enquanto na declividade até 25° observa-se que a derrubada assume menor tempo que a movimentação do cabeçote, o mesmo ocorre inversamente quando a declividade é acima de 25,1°. Levando em consideração que o volume médio individual é constante, é possível avaliar que tal diferença seja um dos motivos principais para a análise das operações parciais em duas classes distintas de declividade. Assim em maiores declividades o tempo gasto na derrubada é maior, o que pode ser justificado em razão de que ao operar em declividades maiores o operador tenha mais cuidado na derrubada em razão da estabilidade da máquina.

Quanto ao maior tempo gasto para uma operação parcial é possível observar que os maiores valores foram encontrados para as operações de descascamento/desgalhamento em declividades acima de 25,1°, a mesma razão para que a derrubada acima de 25,1° tenha valores maiores, pois em maiores declividades o operador tende a realizar as operações de descascamento e desgalhamento com maior cuidado em função da menor estabilidade da máquina. Nas menores declividades as operações parciais de deslocamento e limpeza da pilha tiveram tempos mais curtos quando comparados com a maiores declividades pois possibilitam que o operador realize as mesmas com maior segurança e estabilidade da máquina, podendo, de certa maneira, “caprichar” mais por não se tratarem de operações fundamentais para o corte mecanizado com *harvester*. Avaliando a porcentagem de tempo obtida por elemento do ciclo operacional do *harvester* 911.3 é possível observar que o mesmo comportamento, de ter mais que a metade do tempo sendo gasto pela derrubada e o processamento, também se repete em estudo de Nagl (2003) que obteve 52 % para a derrubada e processamento e que na área A onde a derrubada e o processamento obtiveram em média cerca de 70 % do tempo total do ciclo operacional em todos os sortimentos, similarizando-se aos resultados obtidos na área B onde o percentual gasto na

derrubada e processamento foi em média nas duas classes de declividade de 72 % do tempo total do ciclo operacional. Quanto ao tempo gasto no deslocamento com o *harvester* observou-se que tanto nesta área como na área A, a porcentagem de tempo variou entre 5 % e 9 %.

As informações supracitadas também são corroboradas com a análise de correlação (QUADRO 1), onde observa-se que a declividade não apresenta correlação significativa com a produção ao nível de 95 % de probabilidade de confiança. Nota-se ainda que a declividade apresentou correlação negativa com as seguintes etapas do corte florestal: descascamento/desgalhamento, traçamento e limpeza. Como foi apresentado, apesar da declividade afetar algumas etapas no movimento do *harvester*, não foi possível observar uma correlação significativa com a variável produtividade.

O mesmo comportamento não foi observado na classe de declividade acima de 25,1°, onde verificou-se que a declividade afeta a produtividade negativamente ( $r = -0,469$ ). Ao contrário do tratamento anterior, a declividade ainda afeta as seguintes etapas: movimento de cabeçote, derrubada, descascamento/ desgalhamento e o traçamento (QUADRO 1).

QUADRO 1 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO.

Classe de Declividade de 0° a 25°	Variável	Produtividade (m³/h)	Declividade	Deslocamento entre ciclos	Movimento de cabeçote	Derrubada	Descascam. Desgalham.	Traçamento	Limpeza de pilha	Pegando árv. chão
	Produtividade (m³/h)	1	,183	-,144	-,274	-,068	-,305*	-,414**	-,313*	-,271
	Declividade	,183	1	,405**	,137	,053	,059	,047	,197	-,079
	Deslocamento entre ciclos	-,144	,405**	1	,377**	,201	,461**	,438**	,587**	,282
	Movimento de cabeçote	-,274	,137	,377**	1	,634**	,837**	,666**	,671**	,125
	Derrubada	-,068	,053	,201	,634**	1	,698**	,727**	,578**	,119
	Descascam. Desgalham.	-,305*	,059	,461**	,837**	,698**	1	,719**	,769**	,208
	Traçamento	-,414**	,047	,438**	,666**	,727**	,719**	1	,697**	,425**
	Limpeza de pilha	-,313*	,197	,587**	,671**	,578**	,769**	,697**	1	,223
	Pegando árv. Chão	-,271	-,079	,282	,125	,119	,208	,425**	,223	1
Classe de Declividade acima de 25°	Variável	Produtividade (m³/h)	Declividade	Deslocamento entre ciclos	Movimento de cabeçote	Derrubada	Descascam. Desgalham.	Traçamento	Limpeza de pilha	Pegando árv. chão
	Produtividade (m³/h)	1	-,469**	-,256	-,342**	-,301*	-,305*	-,358**	-,110	-,148
	Declividade	-,469**	1	,111	,440**	,366**	,365**	,313*	,156	-,029
	Deslocamento entre ciclos	-,256	,111	1	,445**	,426**	,460**	,436**	,342**	,415**
	Movimento de cabeçote	-,342**	,440**	,445**	1	,776**	,844**	,651**	,514**	,434**
	Derrubada	-,301*	,366**	,426**	,776**	1	,802**	,750**	,550**	,305*
	Descascam. Desgalham.	-,305*	,365**	,460**	,844**	,802**	1	,745**	,664**	,419**
	Traçamento	-,358**	,313*	,436**	,651**	,750**	,745**	1	,555**	,412**
	Limpeza de pilha	-,110	,156	,342**	,514**	,550**	,664**	,555**	1	,261*
	Pegando árv. Chão	-,148	-,029	,415**	,434**	,305*	,419**	,412**	,261*	1

\*significativo; \*\* altamente significativo

## Operação de Extração Florestal

As diferentes operações parciais executadas pelo *forwarder* nos diferentes tratamentos são apresentadas na FIGURA 28.

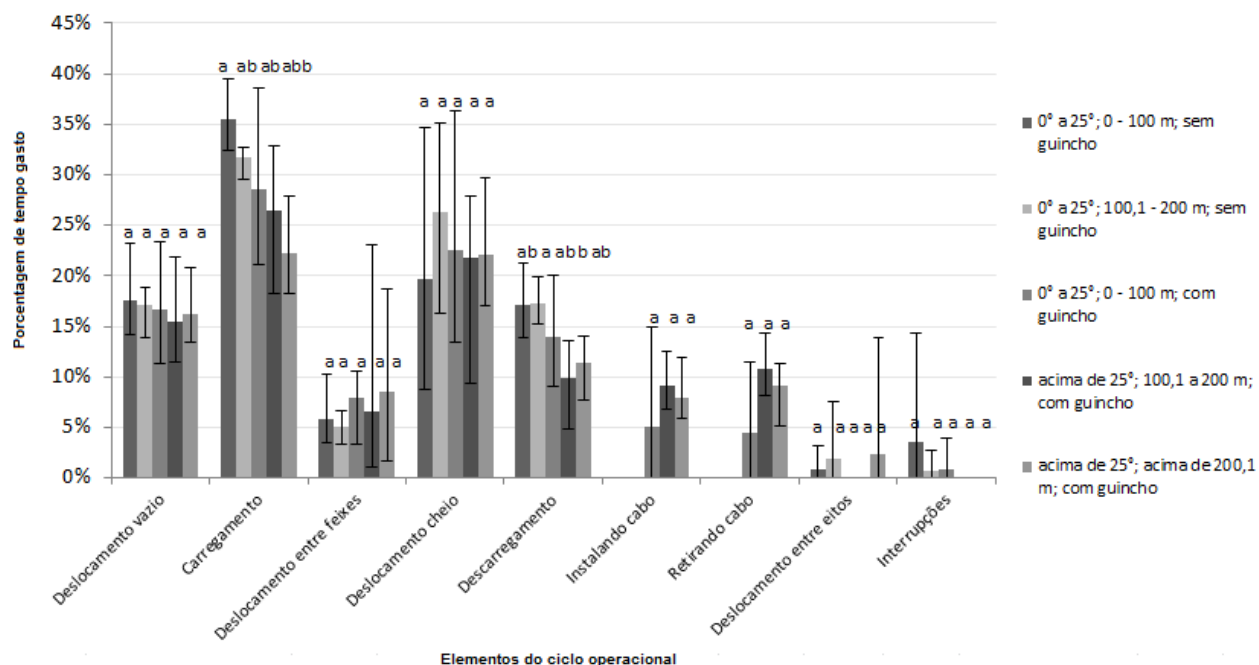


FIGURA 268 – DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO GASTO PELAS OPERAÇÕES PARCIAIS DO *FORWARDER* NOS 5 DIFERENTES TRATAMENTOS.  
NOTA: MÉDIAS SEGUIDAS PELA MESMA LETRA MINÚSCULA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5 % DE SIGNIFICÂNCIA.

É possível observar que nos diferentes tratamentos para o *forwarder* não foi observado um comportamento similar em relação ao tempo gasto para cada operação analisada. Entretanto os dados mostram que em casos onde o uso do guincho era necessário, o tempo gasto para a instalação e desinstalação do mesmo foi responsável por menores médias observadas na produtividade. Além disso, nos tratamentos sem o guincho, o tempo gasto com outras atividades e deslocamento entre ciclos sempre foi presente, o que não ocorreu quando o *forwarder* necessitava do uso do guincho. Outro aspecto importante está nos tratamentos com o uso do guincho e acima de 25,1° onde as operações de deslocamento carregado tiveram o maior tempo gasto para realizá-las. Isto se deve ao fato de que o guincho não deve ser utilizado como uma sustentação da máquina na árvore âncora, mas como um implemento auxiliar na tração da máquina.

Na maioria das operações parciais em declividades acima de 25,1° os valores mínimos são maiores que no tratamento com a declividade até 25°, o mesmo ocorrendo com os valores máximos. Tal amplitude pode ser resultado de um maior cuidado e precaução quanto à realização de tais operações em função da estabilidade da máquina. A menor produtividade também se justifica pelo fato de que a partir de 32° de declividade o *forwarder* teria como volume permitido a ser carregado de 12 m<sup>3</sup>, 3 m<sup>3</sup> a menos que em declividades de até 32°.

Os resultados apresentados mostraram estar de acordo com Cavalli *et al.*, (2009) que concluíram que longas distâncias de deslocamento durante o carregamento e durante a extração associados ao aumento da declividade no terreno são variáveis que contribuem para a redução da produtividade do *forwarder* com GTA.

Seixas (2008) afirmou que a velocidade não é uma característica essencial do *forwarder*, pois a maior parte de seu tempo é empregada no carregamento e descarregamento, tendo sua eficiência baseada na capacidade de superar inúmeras situações adversas no campo. Santos e Machado (1995) afirmam que analisando a operação do *forwarder*, concluíram que o tempo de carregamento foi o elemento que consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional, sendo que a sua produtividade cresceu à medida que o volume por árvore aumentou e a distância de extração diminuiu.

Para todos os tratamentos o carregamento foi a operação parcial que mais gastou tempo, seguido do deslocamento cheio. O deslocamento vazio e descarregamento gastaram menos tempo que o carregamento e o deslocamento cheio e foram as seguintes operações parciais com maior gasto de tempo. Em ordem decrescente quanto ao tempo gasto para executar a operação é possível determinar a seguinte sequência: carregamento, deslocamento cheio, deslocamento vazio e descarregamento.

## **4.2. ATIVIDADES DURANTE O PERÍODO DE PARADA DAS MÁQUINAS**

Os resultados apresentados na FIGURA 29 mostram a porcentagem de tempo em ocorrências no tempo total de parada do *harvester* X3M 911.3 durante o período de testes na área B.

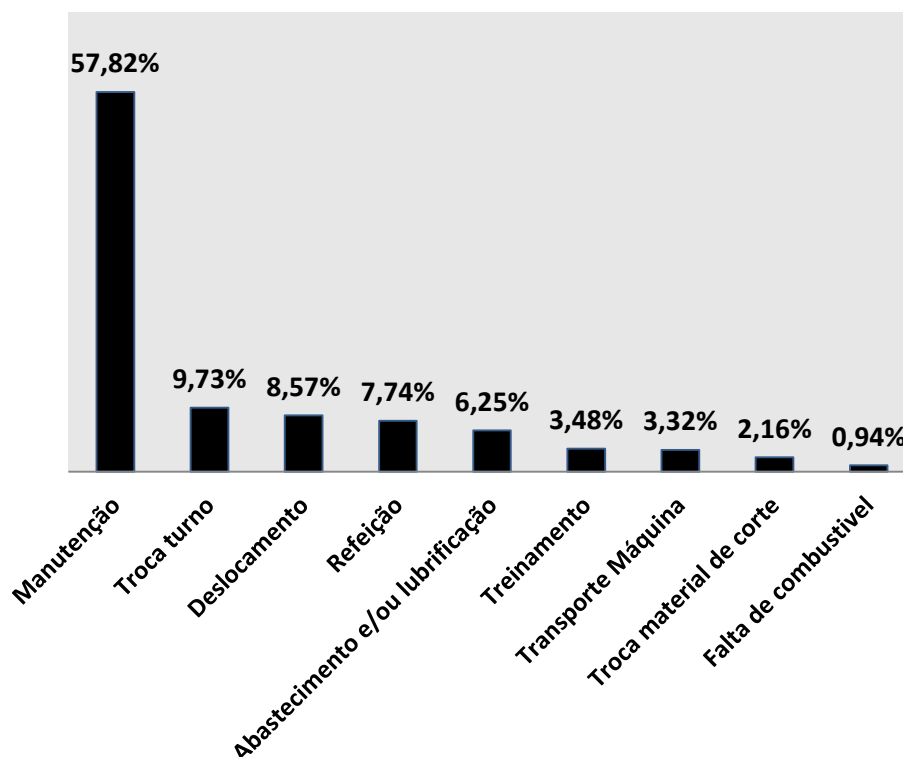


FIGURA 29 – DISTRIBUIÇÃO DAS OCORRÊNCIAS EM HORAS NO TEMPO TOTAL EM QUE O HARVESTER X3M 911.3 ESTEVE PARADO DURANTE O PERÍODO DE TESTES.

As horas totais paradas do *harvester* durante o período analisado foram de 180,9 horas, sendo que as horas paradas para manutenção da máquina representaram 58 % de todo o tempo parado da máquina. Isto evidencia a grande necessidade de manutenções que a máquina teve para realizar o trabalho, confirmando e justificando mais uma vez a baixa eficiência operacional.

Este resultado mostrou-se o oposto do observado por Spinelli e Visser (2008) onde ao analisarem por 692 horas de observação cerca de 34 estudos de tempo e movimentos de *harvesters* na Europa, encontraram em outras atividades as principais causas de interrupções do trabalho que não causas mecânicas.

Na FIGURA 30 abaixo é possível visualizar a distribuição das ocorrências que definiram o tempo total em que o *forwarder* 860.4 esteve parado no período de testes na área B.

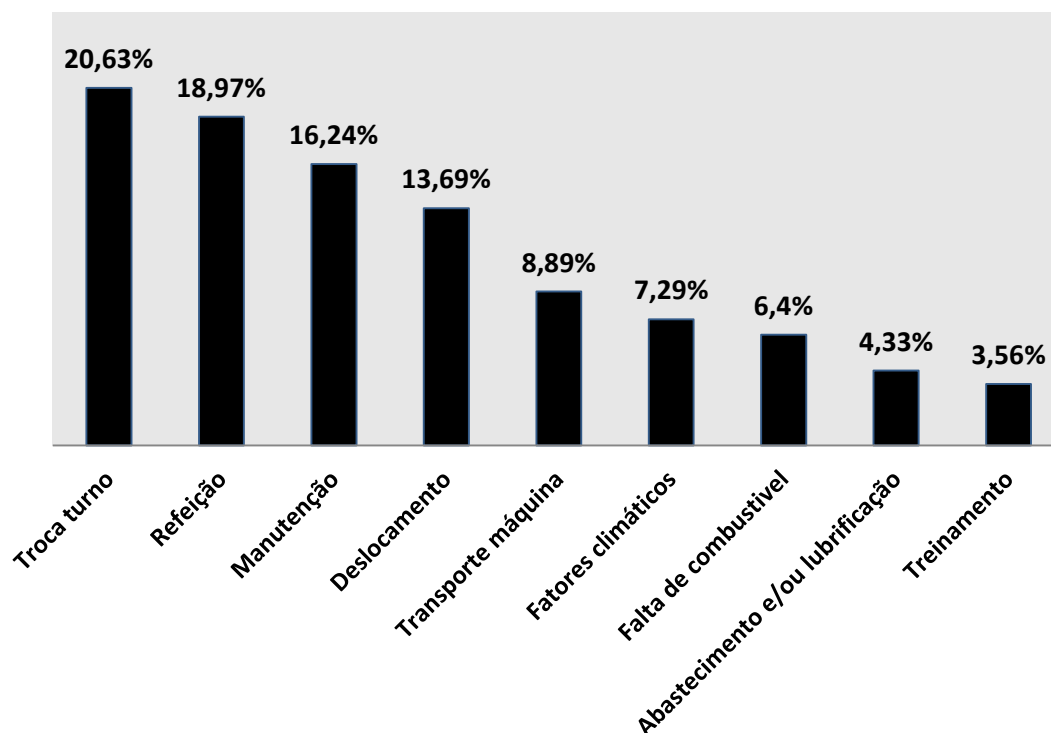


FIGURA 30 – DISTRIBUIÇÃO DAS OCORRÊNCIAS EM HORAS DO TEMPO TOTAL EM QUE O FORWARDER 860.4 ESTEVE PARADO DURANTE O PERÍODO DE TESTES.

Diferentemente do *harvester*, o *forwarder* teve na troca de turno o maior número de horas paradas representando 20 % do tempo total de parada, seguido do tempo gasto para refeições com 19 % e da manutenção com 16 %. Os valores mostraram-se mais bem distribuídos que no caso do *harvester*, mostrando que a manutenção ficou abaixo de 20 % do tempo parado, enquanto que o percentual obtido por Oliveira *et al.*, (2009) para um estudo na extração de Pinus foi de 35,4 % para manutenção. O baixo percentual apresentado para manutenção no tempo de parada total da máquina infere em uma avaliação no sentido de que tal resultado foi obtido em razão do baixo número de horas de uso da máquina.

Em trabalho de Spinelli e Visser (2008) os autores concluíram que para se realizar comparações entre estudos de tempo e movimento deve-se tentar ao máximo manter grande cautela quanto a uniformização das condições de trabalho, sendo, portanto o resultado encontrado neste estudo justificado em razão das horas já trabalhadas pelo *harvester* e aliado ao fato de que a baixa eficiência operacional é procedente de testes operacionais, sendo que paradas e manutenção não programadas contribuem para este resultado.



### 4.3 CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO

#### 4.3.1 Eficiência operacional e disponibilidade mecânica no período de testes

A eficiência operacional de cada uma das máquinas foi calculada em cada área e apresentou-se bastante distinta uma da outra como é possível visualizar na TABELA 09.

TABELA 9 – PORCENTAGEM DE EFICIÊNCIA OPERACIONAL, DISPONIBILIDADE MECÂNICA E TAXA DE UTILIZAÇÃO DAS MÁQUINAS DURANTE O PERÍODO DE TESTES.

	Maquinário	Eficiência Operacional (%)	Disponibilidade Mecânica (%)	Taxa de Utilização (%)	Consumo de combustível (L $he^{-1}$ )
Área A	<i>harvester</i> 911.3	76,1	74,2	56,4	16
	<i>forwarder</i> 860.4	69,4	88,2	61,2	10,8
Área B	<i>harvester</i> 911.3	42,4	66,7	28,3	19
	<i>forwarder</i> 860.4	60,7	93,6	56,8	14,8

A eficiência operacional do *harvester* durante o período de testes nas áreas A e B foram muito aquém daquelas encontradas por Martins *et al.*, (2009) de 70 %; Simões e Fenner (2010a) com 87,5 % e Simões *et al.*, (2010b) com 91,53 %, em especial no área B. Três fatores podem ter sido importantes pela baixa eficiência operacional da máquina: 1) O fato de essencialmente a máquina estar em período de testes e por isso demandar um maior número de paradas em razão de ajustes mecânicos e no programa computacional de registro de dados (Maxxplorer); 2) Quando o trator chegou ao Brasil já possuía um grande número de horas de uso (9.000 horas) e 3) Em especial no caso da

Área B o *harvester* quebrou e teve que ser consertado fora da área de trabalho o que gastou muito do tempo programado para as atividades. Comparando a eficiência operacional atingida pelo *forwarder* com outros trabalhos como o realizado por Oliveira *et al.*, (2009) em que os autores calcularam uma eficiência operacional de 70 % para um *forwarder* 6x6 a diferença não foi tão grande quanto a apresentada pelo *harvester*, isso se deve ao fato de que o *forwarder* era um trator novo.

A baixa eficiência operacional apresentada pelo *forwarder* em ambas áreas mostrou que por não tratar-se de uma operação realizada com prévio planejamento e dimensionamento de frota e em razão da diferença e falta de balanceamento de produção entre as operações de corte e extração, muitas vezes o *forwarder* teve que aguardar a finalização de um eito ou talhão pelo *harvester* para logo em seguida ser realizada a extração sempre respeitando os limites de distância de segurança entre as máquinas.

#### 4.3.2 Custos

Os custos operacionais do *harvester* obtidos em ambas as áreas neste estudo (TABELA 10) foram um pouco maiores que os apresentados por Fernandes *et al.*, (2013) que obteve US\$116,49 por hora efetiva de trabalho com uso de um *harvester* de pneus com semiesteiras com cerca de 16.000 horas trabalhadas operando em declividades de até 30° em declive e 25° em alicive. O *harvester* X3M também teve menores custos que os apresentados por Leite (2012) que estudou um sistema de colheita de toras curtas mecanizado em áreas de florestas semelhantes a da área A, em que os custos operacionais foram de US\$ 145,36  $\text{he}^{-3}$  para o *harvester* e US\$ 125,24  $\text{he}^{-3}$  para o *forwarder* e os custos de produção de US\$ 4,90  $\text{m}^{-3}$  e US\$ 3,80  $\text{m}^{-3}$  respectivamente. Os custos operacionais apresentados na TABELA 10 abaixo mostram que com a diminuição da produtividade aumentam-se os custos operacional e de produção. Entretanto os custos operacionais são mais afetados pelo consumo de combustível que mostrou-se maior na área B que na área A, razão para a qual os custos operacionais foram maiores em ambas máquinas na área B. Este comportamento não se manifesta igualmente quando observados os custos de produção entre as duas áreas, onde o *forwarder* na área B obteve

menor custo de produção que na área A em razão da maior produtividade.

TABELA 10 – CUSTOS OPERACIONAIS E DE PRODUÇÃO NAS ÁREAS ESTUDADAS E COM DIFERENTES CENÁRIOS.

		<i>Harvester X3M</i>				<i>Forwarder 860.4 com GTA</i>			
		Área A		Área B		Área A		Área B	
Vida Útil	Taxa de Utilização	60 %	75 %	60 %	75 %	60 %	75 %	60 %	75 %
	Produtividade ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ )	28,70		15,15		31,79		36,21	
Máquina nova	Custo Operacional ( $\text{US\$ he}^{-1}$ )	93,28**	89,93**	98,86**	95,46**	87,52*	84,14*	95,95*	92,52*
	Custo de Produção ( $\text{US\$ m}^{-3}$ )	3,25**	3,13**	6,52**	6,30**	2,75*	2,64*	2,64*	2,55*
Máquina Usada	Custo Operacional ( $\text{US\$ he}^{-1}$ )	131,88*	128,53*	138,85*	135,45*	122,26**	118,88**	131,94**	128,52**
	Custo de Produção ( $\text{US\$ m}^{-3}$ )	4,59*	4,47*	9,16*	8,94*	3,84**	3,73**	3,64**	3,54**

\* representam cenário real na coleta de dados.

\*\* representam cenário simulado (máquina nova para *harvester* e máquina usada para *forwarder*)

Simões *et al.*, (2010b) analisando um *harvester* encontraram um custo de produção de US\$ 2,13 para uma produtividade média de  $23 \text{ m}^3 \text{he}^{-1}$  com casca para árvores com VMI de  $0,22 \text{ m}^3$ .

Simões *et al.*, (2010a) realizaram o cálculo do custo operacional de um sistema de cabo aéreo em um plantio de *Eucalyptus grandis* com 84 meses de idade com distância de extração de até 400 metros e obtiveram rendimento operacional de  $14,16 \text{ m}^3 \text{he}^{-1}$  e valor do custo operacional de US\$ 80,90 por hora de trabalho, o que em comparação com o *forwarder* com guincho de tração auxiliar não se diferenciou muito, levando em consideração que em operações com cabos aéreos o risco de acidentes é muito grande e que o custo de produção do cabo foi de US\$ 5,71 enquanto que o do *forwarder* novo em ambas áreas (A=US\$ 2,75 e B=US\$ 2,64) foi cerca da metade deste valor.

As diferenças e o comportamento dos custos operacionais e de produção não se alteram na medida em que se aumenta a taxa de utilização das máquinas. É possível observar que ao aumentar a taxa de utilização diminuíram-se os custos de modo geral, sendo que nas operações de corte na área B foram verificadas as maiores diferenças. Por esta razão é que as grandes empresas do setor florestal investem na busca por melhores valores de eficiência operacional e de disponibilidade mecânica.

Algumas medidas administrativas e de controle operacional como contratos de manutenção mecânica, capacitação de operadores, metas de produção, trabalho em turnos noturnos, premiação por produtividade podem garantir melhores resultados referentes a eficiência total das máquinas e do sistema de colheita.

Na FIGURA 31 os custos de manutenção e reparos e depreciação representam mais de 50 % do custo calculado para o *harvester* na área A e são os dois principais componentes da composição total dos custos.

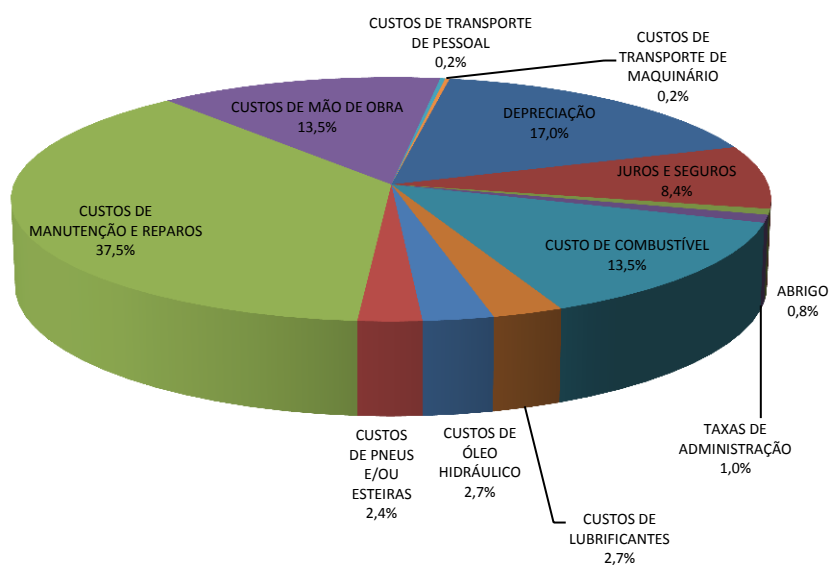


FIGURA 31 – COMPONENTES DO CUSTO OPERACIONAL DO HARVESTER X3M NA ÁREA A COM 60 % DE TAXA DE UTILIZAÇÃO.

Leite (2012) apresenta proporção de porcentagem na composição de custos semelhante a esta encontrada na área A sendo as principais diferenças encontradas nos menores custos de mão de obra e no maior custo de

combustível na análise onde o *harvester* era de pneus e tinha uma vida útil de 16.000 horas. O maior custo de mão de obra observado neste trabalho foi influenciado pelo fato de que em situações de declividade acentuada aliada a introdução de novo maquinário, como no caso do *harvester* X3M, é necessário que a operação seja realizada por operadores mais experientes que consequentemente possuem maiores salários. Quanto ao maior custo de combustível observado por Leite (2012) a razão se deve a vida útil da máquina que teve cerca de 7.000 horas a mais de diferença para o *harvester* X3M e consequentemente maior consumo de combustível.

Na área A é importante observar que tanto os custos de mão de obra e de combustível tiveram a mesma porcentagem (13,5 %) sendo ambos correspondentes ao terceiro componente mais importante no total do custo operacional. Na FIGURA 32 onde foi analisada a porcentagem do custo determinado para o *harvester* na área B o custo de combustível diferenciou-se do custo de mão de obra.

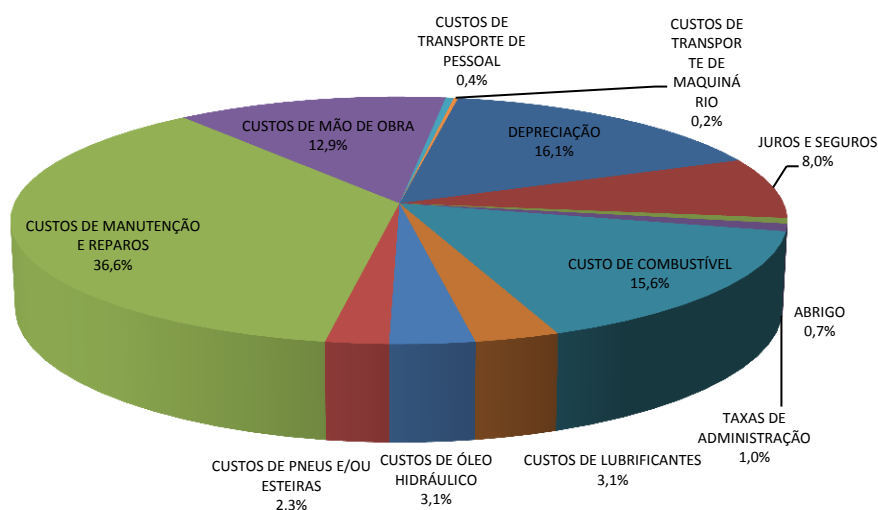


FIGURA 272 – COMPONENTES DO CUSTO OPERACIONAL DO *HARVESTER* X3M NA ÁREA B COM 60 % DE TAXA DE UTILIZAÇÃO.

Simões e Fenner (2010a) encontraram resultados para um *harvester* composto por uma máquina base de esteiras, onde a porcentagem dos custos de mão de obra, combustível e a depreciação foram maiores que os apresentados na área B, enquanto que a porcentagem dos custos de manutenção e reparos foi 14 % menor.

Comparando a composição de custos da área A com a área B foi

possível determinar que ambas são bastante similares com exceção dos custos de combustíveis. O custo de mão de obra foi ligeiramente menor enquanto o custo de combustíveis foi maior mostrando que a composição de custos na área B se aproximou mais da composição determinada por Leite (2012).

A composição de custos do *forwarder* na área A, apresentada na FIGURA 33, mostrou-se diferenciada da apresentada pelo *harvester* e teve como principal diferença a redução da porcentagem gasta na composição do custo operacional com manutenção e reparos que foi 12,9 % menor que a apresentada no *harvester* na mesma área, em razão de que o *forwarder* iniciou os testes na área A com 44 horas de vida útil, ou seja, era considerada uma máquina nova.

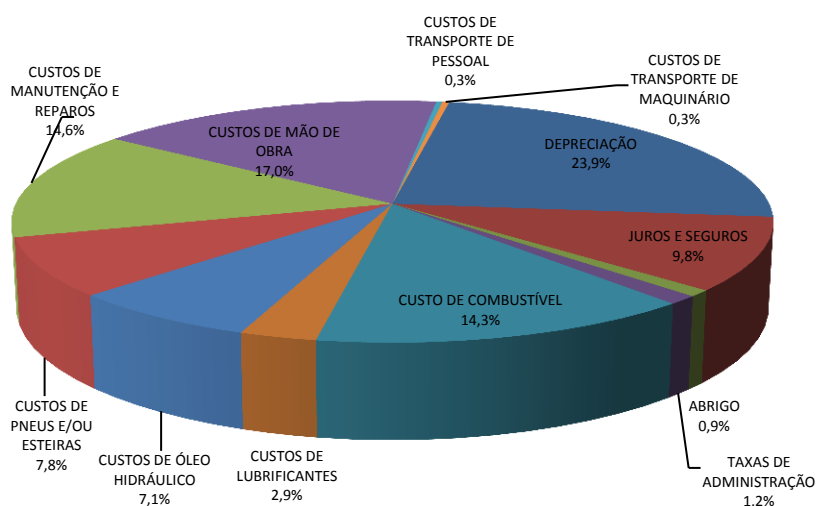


FIGURA 283 – COMPONENTES DO CUSTO OPERACIONAL DO *FORWARDER* NA ÁREA A COM 60 % DE TAXA DE UTILIZAÇÃO.

A menor porcentagem referente a manutenção e mão de obra acarretou em maiores porcentagens constituintes do custo operacional para o custo de mão de obra, pneus e esteiras e óleo hidráulico, sendo que nestes dois últimos a razão deste aumento se dá ao fato de o *harvester* possuir esteiras fixas e menor custo aliada ao fato de que o *forwarder* era composto por semiesteiras e o sistema de guincho por tração auxiliar (GTA) necessitar o uso de graxas específicas, o que aumenta a porcentagem destes custos no custo operacional.

As porcentagens obtidas com mão de obra e depreciação foram maiores que as apresentadas por Simões e Fenner (2010b) e Leite (2012), enquanto que os custos com combustíveis e de manutenção e reparos foram menores

com destaque aos últimos custos que tem relação direta com o baixo número de horas trabalhadas pelo *forwarder*.

A composição do custo operacional na área B com o *forwarder*, apresentada na FIGURA 34, mostrou diferenças em relação a área A e basicamente teve como as principais maior percentagem no custo de mão de obra, juros e seguros, lubrificantes, óleo hidráulico e combustível, sendo este último o que teve maior diferença na percentagem com 3,2 % de diferença.

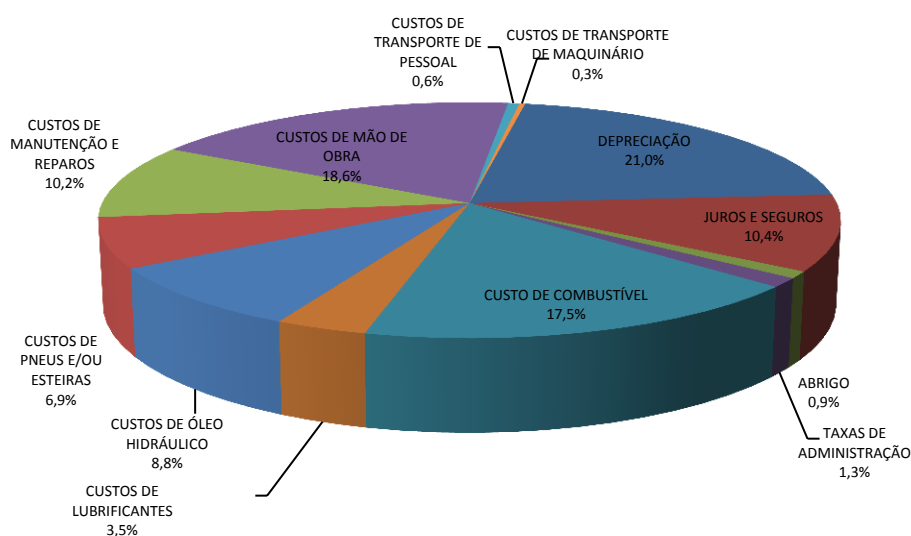


FIGURA 294 – COMPONENTES DO CUSTO OPERACIONAL DO *FORWARDER* NA ÁREA A COM 60 % DE TAXA DE UTILIZAÇÃO.

Por outro lado foram observadas na área B menores percentagens nos custos de manutenção e reparos, pneus e esteiras e na depreciação. A diferença entre a área A e a área B na percentagem dos custos de manutenção e reparos foi 4,4 % inferior para área B.

### **Análise de Sensibilidade**

As variáveis que mais influenciaram o *harvester* e o *forwarder* em ambas as áreas foram aquelas que influenciaram os custos que obtiveram as maiores porcentagens na composição do custo operacional, sendo: taxa de juros, preço do combustível, depreciação, valor de aquisição da máquina, vida útil econômica da máquina, manutenção e reparos e salário dos operadores.

A análise de sensibilidade para o *harvester* X3M nas áreas A e B mostra na FIGURA 35 através do diagrama *Spiderplot* as principais variáveis do custo operacional levando em consideração vida útil idêntica a do período de testes com 9190 horas na área A e 9523 horas na área B e com taxa de utilização de 60 %.



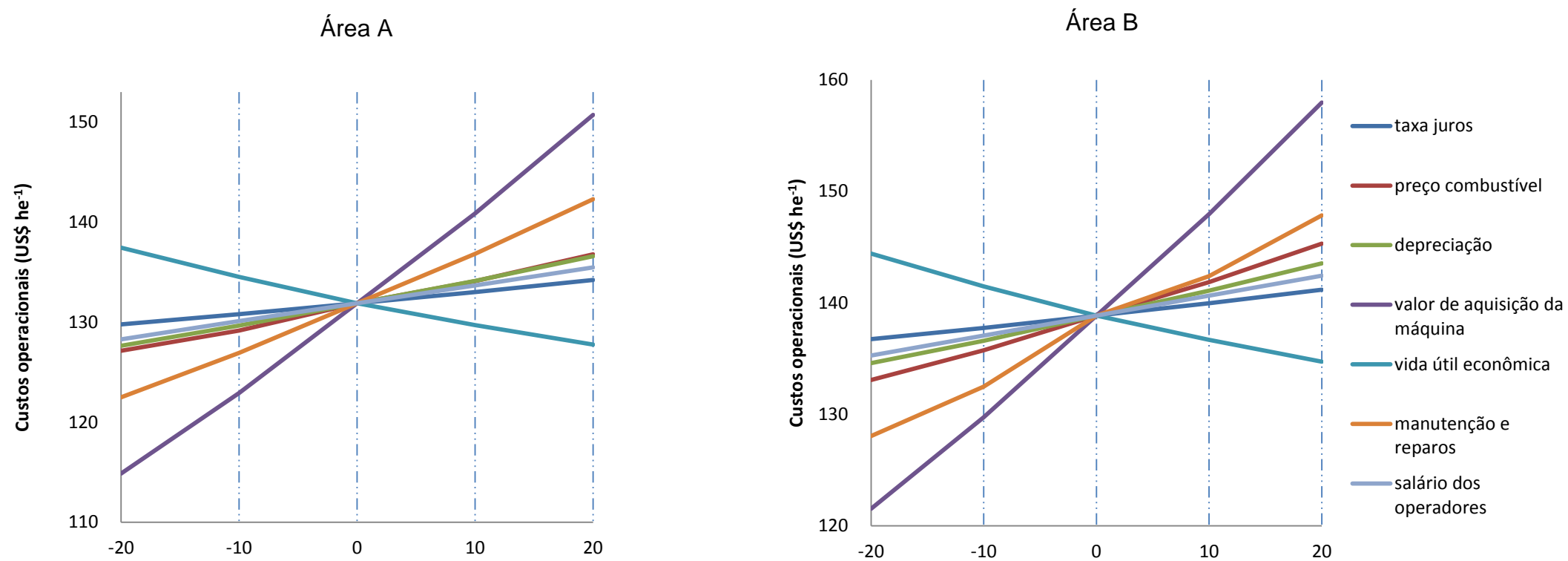


FIGURA 305 – DIAGRAMA DE *SPIDERPLOT* DAS SETE PRINCIPAIS VARIÁVEIS DOS CUSTOS OPERACIONAIS DO *HARVESTER* NAS ÁREAS A E B E TAXA DE UTILIZAÇÃO DE 60 %.

Em ambas as áreas a variável que mais influenciou o custo operacional do *harvester* foi o valor de aquisição da máquina seguida dos custos de manutenção e reparos e do preço do combustível que obtiveram as maiores inclinações de cada variável apresentadas na FIGURA 35. Entretanto entre as duas áreas pode-se observar que na quarta importância de influência nos custos, na área A se destacou a depreciação, enquanto na área B foi a vida útil da máquina. Seguidamente observou-se o salário dos operadores e a taxa de juros com a menor influência na análise de sensibilidade dos custos. Os resultados da área B são iguais aos observados por Leite (2012), enquanto que na área A, a única diferença se deu na quarta ordem de influência com a depreciação sendo mais influente nos custos que a vida útil da máquina.

A análise de sensibilidade para os custos operacionais do *forwarder* (FIGURA 36) determinaram para a área A decrescentemente a seguinte sequência na influência na composição do custo operacional: valor de aquisição, preço do combustível, vida útil, depreciação, salário dos operadores, taxa de juros e custo de manutenção e reparos.

Na área B a sequência foi: valor de aquisição, preço do combustível, depreciação, vida útil da máquina, salário dos operadores, taxa de juros e custo de manutenção e reparos. A FIGURA 36 mostra na Área B que a influência do preço do combustível é bem mais destacada que na Área A, isto se deve ao fato de que, aliado a ocorrência de maior consumo de combustível na área B, o microrelevo com presença de talhões sem extensas rampas de declividade e estes talhões estarem em mosaicos de pequenos morros separados uns dos outros pode ser um fator para análise de planejamento e antecipação de aumento de custos relacionados a eventuais aumentos nos preços dos combustíveis.

Diferentemente do *harvester*, o *forwarder* não teve os custo de reparos e manutenção como um dos mais influentes. Isto se deve ao fato de que o *forwarder* no período de testes era novo, enquanto o *harvester* já tinha cerca de 9.000 horas trabalhadas. Com isso foi possível observar nas duas áreas que o estado atual da máquina (vida útil de momento) será primordial na análise de sensibilidade e nos cuidados a serem tomados ao longo da vida útil das máquinas.

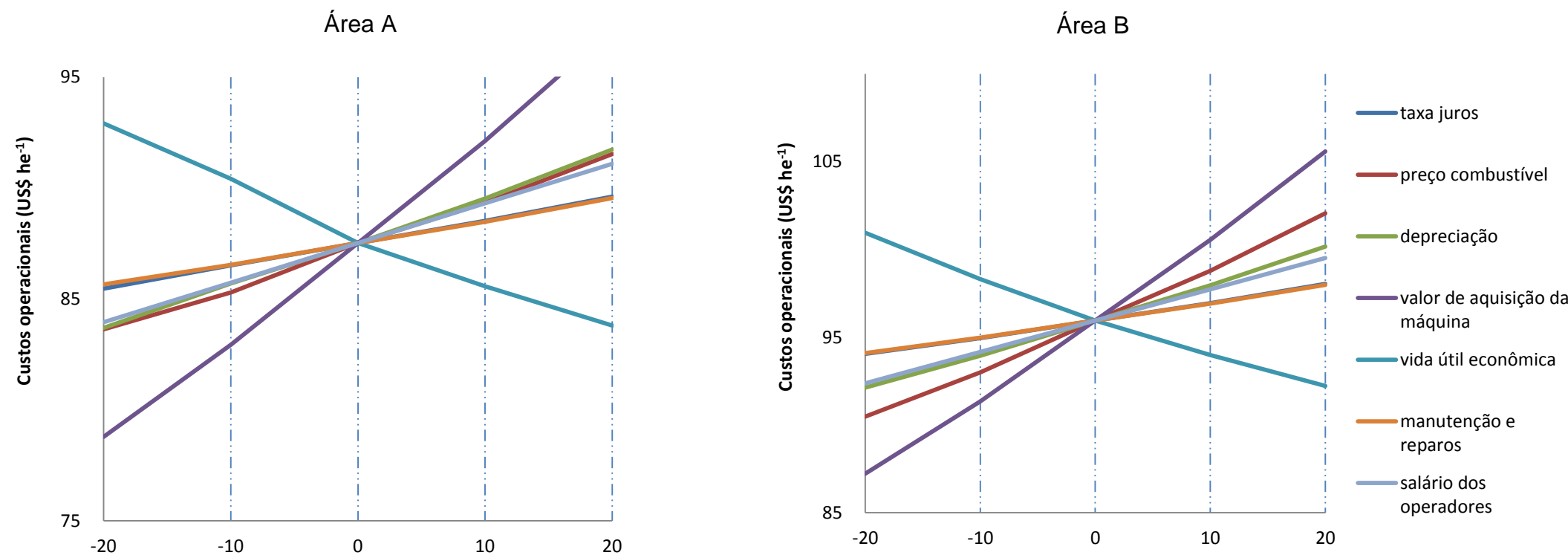


FIGURA 31 – DIAGRAMA DE SPIDERPLOT DAS SETE PRINCIPAIS VARIÁVEIS DOS CUSTOS OPERACIONAIS DO *FORWARDER* NAS ÁREAS A E B E TAXA DE UTILIZAÇÃO DE 60 %.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados realizados das análises dos dados obtidos nos testes com o *harvester* X3M 911.3 e com o *forwarder* 860.4 com guincho de tração auxiliar possibilitaram definir as seguintes conclusões:

- O volume médio individual teve maior influência na produtividade do *harvester* que o aumento das declividades avaliadas;
- Existiu pouca tendência de diminuição da produtividade em operações no declive;
- A produtividade do *harvester* não foi significativamente influenciada pelo sentido de deslocamento, o que possibilita um ganho em relação ao método empregado de retorno dentro do eito sem realização do corte;
- A ação do ciclo operacional que mais demandou tempo na máquina estudada quando o sortimento é com toras descascadas é o processamento;
- O uso do guincho auxiliar de tração e o aumento da declividade diminuíram a produtividade do *forwarder*;
- Quanto à proporção dos elementos do ciclo operacional em declividades acima de 25,1° tanto o *harvester* quanto o *forwarder* demandam mais tempo para realizá-las.
- Para o *forwarder* a operação parcial que mais gastou tempo foi o carregamento em quaisquer declividades;
- O valor de aquisição da máquina foi a variável que mais influenciou o custo operacional;
- Quanto mais nova a máquina, maior a influência do preço do combustível no custo operacional e quanto mais usada maior a influência dos custos de manutenção e reparos;
- Os custos operacionais e de produção tanto do *harvester* quanto do *forwarder* se mostraram similares ou inferiores a outros trabalhos, o que permitiu a aplicação operacional do sistema mecanizado em relevo montanhoso;
- A aplicação destas máquinas na colheita nas duas condições de

relevo acidentado analisadas pode ser realizada com custos equivalentes a outras máquinas e com produtividade sem perdas significativas com o aumento da declividade.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Além das conclusões supracitadas o sistema mecanizado deve ter atenção voltada a fatores inerentes ao planejamento operacional, capacitação, controle e segurança das operações.

No que refere-se a aplicação das máquinas durante o turno noturno deve ser dada atenção especial ao microplanejamento da colheita atendendo a premissas de segurança do trabalho com a alocação dos terrenos mais declivosos (acima de 25,1°C) para serem colhidos por ambas as máquinas nos turnos diurnos e conseqüentemente com os terrenos mais planos sendo reservados para as operações de colheita no turno noturno.

Durante o microplanejamento da colheita, é de suma importância a marcação de limites de declividade nas árvores do povoamento como sinalização ao operador de que ele está adentrando em terreno mais declivoso. Esta sinalização pode ser reforçada ou substituída por um clinômetro que pode ser instalado nas máquinas para indicação de inclinação do terreno.

Condições edafo-climáticas também necessitam atenção especial de modo que as operações em terrenos mais declivosos sejam realocadas para terrenos menos declivosos durante chuvas prolongadas e acúmulo excessivo de água no solo.

Devem ser avaliadas previamente as árvores âncora que servirão de suporte ao guincho de tração auxiliar do *forwarder* com o intuito de que estas sejam vistosas o suficiente para que não ocorra a quebra das mesmas.

Os operadores selecionados para operação em terrenos declivosos devem passar por avaliação criteriosa no sentido de garantir um perfil profissional que vise garantir a execução das operações com segurança e com ritmo de trabalho adequado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF, 2013. Anuário Estatístico 2013 - Ano base 2012. Disponível em: [http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13\\_BR.pdf](http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf), acessado em 20/09/2013.

ACAR, H.; UNVER, C. Uncontrolled Skidding of Logs Using a Chute System in a Mountain Region. **Proceedings of the IUFRO Unit 3.06 International Conference – Forest Operations in Mountainous Conditions**. Honne, Norway, June 2 – 5, 2013.

AGRITEMPO, 2012. Disponível em: <[www.agritempo.gov.br](http://www.agritempo.gov.br)>. Acesso em: 07/02/2013.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE standards 2001: machinery, equipment, and buildings: operating costs**. Ames, 2001. 226p. (ASAE D472-3).

BACHER-WINTERHALTER, M. **Optmierungsmöglichkeiten und restriktionen eines mechanisierten holzerntsystems bei der umsetzung moderner waldbaukonzepte am beispiel des südschwarzwaldes**. Doktorarbeit - Albert Ludwigs Universität, Freiburg im Breisgau, Freiburg, Alemanha, 2004.

BALLE, F. **Motormanuelle Starkholzernte am steilen Hang mit traktionswindenunterstütztem Forstspezialschlepper**. Masterarbeit, Albert Ludwigs Universität, Freiburg im Breisgau, Freiburg, Alemanha, 2012.

BANTEL, C. A. **Estudo de diferentes sistemas de colheita de *Eucalyptus spp.* em área montanhosa**. Tese (Doutorado) – UNESP, Botucatu, 2010.

BARNES, R. M. **Estudos de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 635p.

BATISTA, H. L. P. **Estudo de tempo e rendimento da motosserra considerando fatores ergonômicos numa exploração florestal na Amazônia Central**. Monografia - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, AM, 2008.

BIERNATH, D. **Forstmaschinen Extrem**. Scheeßel: Forstfachverlag, 2012.151 p.

BIRRO, M. H. B.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; MINETTI, L. J. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “track-skidder” em região montanhosa. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 525-532, 2002.

BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, 62: p. 62-74, 2002.

BRASIL. Lei Nº 12.651 de 25/05/2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, p. 1, 28 mai. 2012, Seção 1.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 303 de 13/05/2002. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, p. 68, 13 mai. 2012.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita do eucalipto**. Dissertação - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

CANTO, J.L. **Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia**. 2009. 127 f. Tese de doutorado em Ciência Florestal – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

CASTRO, G. **Extração de madeira shovel logging**. Disponível em: <<http://www.colheitademadeira.com.br/informativos/270/extracao-de-madeira-shovel-logging.html>>. Acesso em: 05/09/2012.

CAVALLI, R.; GRIGOLATO, S.; BERGOMI L. Z. Esbosco in ambiente montano con Cable-Forwarder. **Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura**. Taormina (ME): 16-19 outubro 2009. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, p. 1476-1481.

DREWS, E. S.; DOYAL, J. A.; HARTSOUGH, B. R.; KELLOG, L. D. Harvester-Forwarder and Harvester-Yarder Systems for Fuel Reduction Treatments. **International Journal of Forest Engineering**, v. 12, n. 1, 2001.

EMBRAPA. **Serviço nacional de levantamentos de solo**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA. Produção da Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.

FENNER, P. T. **Estudo descritivo dos acidentes de trabalho em uma empresa florestal**. Dissertação - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

FERNANDES, H. C.; BURLA, E. R.; LEITE, E. S.; MINETTE, L. J. Avaliação técnica e econômica de um “Harvester” em diferentes condições de terreno e produtividade da Floresta. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 141-151, 2013.

FIEDLER, N. C. Colheita e transporte em áreas declivosas. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, n. 27, p. 22, 2012.

FIEDLER, N. C.; JUVANHOL, R. S.; PAULA, E. N. S. O.; GONÇALVES, S. B.; CARMO, F. C. A.; MAZIEIRO, R. Análise da carga de trabalho físico em atividades de implantação florestal em áreas declivosas. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 241-248, 2012.

FLEISCHER, M. **Geschichte der mobilen Holzerntemaschinen für Fäll-, Entastungs- und Ablängarbeiten**. Projekte- Verlag, 2007.

FREITAS, C.L.; SILVA, M.L.; MACHADO, C.C. Influência do cálculo de depreciação no imposto de renda e no fluxo de caixa de uma atividade de transporte florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p 257-264, 2007.

FRUTIG, F.; FAHRNI, F.; STETTLER, A.; EGGER, A. Mechanisierte Holzernte in Hanglagen. **Wald und Holz**, v. 88, n. 4, p. 47-52, 2007.

GRAMMEL, R. **Holzernte und Holztransport – Grundlagen**. Parey Verlag. Hamburg; Berlin, 1988. 242 p.

GREMO. HarvesterBesten. Disponível em: <http://www.gremo.se>, acessado em 20/07/2011.

HÄSELER, J. **Mechanisierte Nadelholzernte mit dem Harwarder Ponsee Wisent Dual – Leistung, Kosten und Bestandpfleglichkeit**. VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co. KG. Saarbrücken, 2008.

HARTSOUGH, B. R.; COOPER, D. J. Cut-to-Length Harvesting of Short-Rotation Eucalyptus. **Forest Products Journal**, v. 49, n. 10, p. 69-75, 1999.

HUMMEL, J.; OERTLE, A.; STERNBERG, J. **Das Neue Grosse Forstmaschinen – Buch**. HEEL Verlag GmbH, 2005, 168 p. Königswinter.

JIROUŠEK, R.; KLVAČ, R.; SKOUPÝ, A. Productivity and costs of the mechanized cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. **Journal of Forest Science**, v. 53, n. 10, p. 476-482, 2007.

KELLOG, L.D.; BETTINGER, P. Thinning Productivity and Cost for a Mechanized Cut-to-Length System in the Northwest Pacific Coast Region of the USA. **Journal of Forest Engineering**, 43 – 54, 2004.

KOMATSU FOREST. **911.5 X3M**. Disponível em: <[www.komatsuforest.com](http://www.komatsuforest.com)>. Acesso em 25/04/2012.

KORTEN, S. Neue Technik für die Holzernte in Hochgebirge. **LKF aktuell**, n. 39, p. 27-28, 2003.

KORTEN, S.; MATTHIES, D. Raupenlaufwerke am Steilhang. **AFZ/Der Wald**, v. 58, n.17, 846p, 2003a.

KORTEN, S.; MATTHIES, D. **Der Steilhang – Raupenharvester Valmet 911 „Snake“ – Leistung, Kosten, Pfleglichkeit**. *Abschluss Bericht zum Projekt ST 108*, 2003b.

KORTEN, S.; MATTHIES, D.; GENNARI, C.; NAGL, M. Leistung, Kosten, Pfleglichkeit des Valmet 911 X 3M. Holzernte am Hang, **Forst & Technik**, 2003.

LAL, R. Deforestation and land use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. II: soil chemical properties. **Land Degradation and**



**Development**, v. 7, p. 87–98, 1996.

LEITE, E. S. **Desenvolvimento de planos de colheita florestal de precisão utilizando tecnologias de geoprocessamento**. 120 p. Dissertação (Mestrado) – UFV, Viçosa, 2010.

LEITE, E. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 109 p. Tese (Doutorado) – UFV, Viçosa, 2012.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; GUEDES, I. L.; AMARAL, E. J.; LACERDA, E. G. Utilização de guindaste na extração de madeira em região montanhosa. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 195-201, 2012.

LOPES, E. S.; CRUZINIANI, E.; DIAS, A. N.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de Pinus com cabeçote Harvester em diferentes condições operacionais. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 305-313, set.-dez. 2007.

LOPES, S. E. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. 144 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

MACHADO, C. C. **O setor florestal brasileiro**. In: MACHADO, C. C. (Org.). Colheita florestal. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2002. p. 15-32.

MACHADO, R. L.; TURATTI, T.; ALONÇO, E. A. S. Construção e utilização de um perfilômetro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. **Resumos...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, 1993, p.171-172.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na Região Sul do Brasil**. Curitiba: FUPEF, 1998. 138p.

MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A.; CAMARGO, C. M. S. Sistemas. In: MACHADO, C.C. editor. Colheita Florestal. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/Imprensa Universitária; 2006a.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R.; MALINOVSKI, J. R.; YAMAJI, F. M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, p. 169-182, 2006b.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, v. 13, n. 17, p. 52-55, 1987.

MARTINS, R. J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um *harvester* trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 83, p.

253-263, 2009.

MINETTE, L.J.; SILVA, E.N.; FREITAS, K.E.; SOUZA, A.P.; SILVA, E.P. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada em Niquelândia, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 659–665, 2008.

MIZARAS, S., SADAUSKIENÉ, L.; MIZARAITÉ, D. Productivity of Harvesting Machines and Cost of Mechanized Wood Harvesting: Lithuanian Case Study. **Baltic Forestry**, 14(2): 155-162, 2008.

MORAIS, M.G.A. **Colheita e Transporte de Madeira: terceirização X verticalização das operações**. 167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MOURA, C.A. **Zoneamento geoambiental como subsídio à análise dos indicadores ambientais nas áreas de dutos: caracterização do clima como fator determinante da instabilidade das áreas de implantação de dutos**. Trabalho de Conclusão de curso - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

NAGL, M. **Der Steilhang-Raupenharvester Valmet 911 Snake - Untersuchungen zu Leistung, Kosten und Pfleglichkeit**. Diplomarbeit an der Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der Technischen Universität München - Technischen Universität München, Freising, Alemanha, 2003.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E.S.; FIEDLER, N.C. Avaliação técnica e econômica do Forwarder na extração de toras de Pinus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, dez. 2009.

OLIVEIRA, R. J. **Avaliação técnica e econômica de cabos aéreos na colheita de pinus no município de Cerro Azul – PR**. 2009. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

PONSEE. Buffalo Dual Harwarder. Disponível em: <http://www.ponsee.com/products/dual-harwarders>, acessado em 30/09/2013.

REISINGER, T. W.; POPE, P. E.; HAMMOND, S. C. Natural recovery of compacted soil in an upland hardwood forest in Indiana. **North Journal of Applied Forestry**, v. 9, n. 4, p.138 – 141, 1992.

SANT'ANNA, C.M.; MALINOVSKI, J.R. Avaliação da segurança no trabalho de operadores de motosserra no corte de eucalipto em região montanhosa. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 2, p. 75-84, 1999.

SANT'ANNA C. M. Corte Florestal. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2002.

SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C. Análise técnica econômica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 346-357, 1995.

SANTOS, H. G.; JÚNIOR, W. C.; DART, R. O.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S.; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; OLIVEIRA, A. P. **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p.

SAUTER, U. H.; MEHLIN, I.; GRAMMEL, R. Vollmechanisierte Holzernte am Steilhang mit Vollerntertechnik. **AFZ/Der Wald** Nr. 14 S. 722-724, 1998.

SAUTER, J.; LATSCH, R. Operating limits to mechanization in mountain áreas. *Grassland Farming and Land Management Systems in Mountains Regions. Proceedings of the 16<sup>th</sup> Symposium of the European Grassland Federation*. 2011 29<sup>th</sup> -30<sup>th</sup> August. Gumpenstein, Austria.

SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2008. p. 97-145.

SEIXAS, F. As inovações da colheita de madeira. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, n. 20, p. 18, 2010.

SILVA, M.L.; MIRANDA, G.M.; CORDEIRO, S.A. Custos. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2008. p. 231-260.

SILVA, R.M. **Considerações sobre análise de sensibilidade em análise de decisão**. Relatório de Iniciação Científica. Brasília, DF: CNPq, 2004. 44 p.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T. Influência do relevo na produtividade e custos do *harvester*. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 85, p. 107-114, 2010a.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Revista Floresta**, v. 40, p. 711-720, 2010b.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T.; BANTEL, C.A. Custos e rendimentos operacionais da extração de madeira de eucalipto com cabo aéreo. **Revista Cerne**, v. 16, n. 2, p. 185 -192, 2010a.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M.S.T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 611-618, dez. 2010b.

SPINELLI, R.; OWENDE, P. M. O.; WARD, S. M. Productivity and cost of CTL harvesting of *Eucalyptus globulus* stands using excavator – based harvesters. **Forest Products Journal**, v. 52, n. 1, p. 67-57, 2002.

SPINELLI, R., VISSER, R. Analyzing and Estimating Delays in Harvesting

Operations. **International Journal of Forest Engineering**, v. 19, n. 1, p. 36-41, jan. 2008.

STAMPFER, K.; STEINMÜLLER, T. A New Approach to Derive a Productivity Model for the Harvester “Valmet 911 Snake”. [cited 2012, sep. 01.] Available from: **Anais do The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium**, 2001, p. 254 – 262.

STAMPFER, K.; STEINMÜLLER, T. **Leistungsdaten Valmet 911.1 X3 M – Endbericht**. Universität für Bodenkultur Wien – Department für Wald- und Boden- Wissenschaft. Novembro, 2004.

STÖHR, G. W. D.; LEINERT, S. Importância e aplicação do estudo do trabalho. **Floresta**, v. 9, n. 1, p. 27-38, 1978.

THEES, O.; FRUTIG, F.; FENNER, P. T. Colheita de madeira em terrenos acidentados – Recentes desenvolvimentos técnicos e seu uso na Suíça. XVI Seminário de atualização em sistemas de colheita e transporte florestal. **Anais,..** 2011, pag 125.

THURINGIAN MINISTRY FOR AGRICULTURE, FORESTRY, ENVIRONMENT AND NATURE CONSERVATION (DE). **Timber harvesting methods in steep and moderately sloped terrain** [CD-ROM]. Erfurt. Fachhochschule Erfurt: University of Applied Sciences – Forstwissenschaft und Ökosystemmanagement, 2011.

UHL, E. Welche Holzernte und- Bringungsverfahren gibt es für steile Lagen? **LWF Aktuell**, Nr. 39, p. 16-18, 2003.

UUSITALO, J. **Introduction to Forest Operations and Technology**. JVP Forest Systems Oy. Kariston Kirjapaino Oy, Hämeenlinna, 2010. 287 pág.

WEGMANN, U. Kletterkünstler Hangforwarder. **Wald und Holz**. Nr. 1, S. 30-31, 2009.

YAMASHITA, R. Y. **Avaliação das condições de trabalho e da exposição à vibração do operador de máquinas na colheita florestal** [dissertação]. Piracicaba: Escola Superior de Agronomia Luis de Queiroz; 2002.

ZINKEVICIUS, R.; VITUNSKAS, D. Assessment of Operator Effect on Machine Performance of “Ponsse Buffalo Dual Harwarder”. **Engineering for Rural Development**, Nr. 23, p. 73-78, 2013.